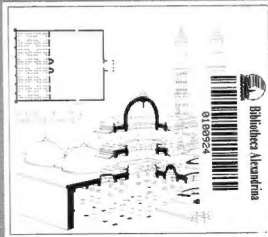
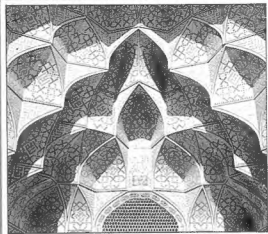


مختصر العلوم الهندية
الجزء الثالث

التحليل الإنشائي
لثلاث أنواع القز والفاسر الإنشائية الحاملة

إعداد المهندس المعماري

عماد تنكيحي



مختصر العلوم الهندسية
الجزء الثالث

تحليل الإنشائي لمختلف الطرز وَالْعَنَاصِرُ الْإِنْشَائِيَّةُ الْحَامِلَةُ

- التحليل الإنشائي للعناصر الإنشائية الحاملة.
- التحليل الإنشائي لمختلف أنواع الجمل الإنشائية المعروفة.
- تعاريف أساسية وجدول حساب معيارية.

اعد المهندس

عماد محمد عدنان شبكي



حقوق الطبع محفوظة للناسر

الطبعة الأولى

١٩٨٨

سلسلة : مختصر العلوم الهندسية (٢)

الكتاب : التحليل الإنشائي لمختلف الطرز
والعناصر الإنشائية الحاملة

اعداد : المهندس عياد عدنان نيكجي

الطابع : مطبعة الشام

عدد الطبع : ٢٠٠٠ نسخة

الناسر : دار دمشق للطباعة والنشر والتوزيع

دمشق - سوريا : شارع بور سعيد هاتف : ٢١١٠٢٢ - ٢١١٠٤٨ ص.ب

٥٣٧٢ تليكس ٤١٢٥٣٨ زينه

● المقدمة :

لقد كان للتطور العلمي والتكنولوجي ، أثره على تطوير العلوم الهندسية . فبعد أن كانت الحسابات ، تعتمد على قواعد رياضية بسيطة ، أخذت تعرف نظريات حديثة ، تعتمد أساليب في التحليل الإنشائي ، تستند أساساً ، على ما استجد من قواعد وقوانين رياضية . لقد ساهمت المصفوفات كما سنرى ، على تبسيط حسابات التحليل الإنشائي ، كما ساهم الحاسوب أخيراً ، وبرامجه المتعددة ، في حل الكثير من المنشآت المعقدة ، وبشكل أقرب ما يكون إلى الكمال ، والدقة الكاملة .

يبحث الجزء هذا ، في الأساليب المتبعة لتحليل مختلف عناصر المنشأة الحاملة ، الواقعة فوق منسوب الأرض الطبيعية .

ابتدأنا الجزء هذا ، وفي فصله الأول ، بالتحليل الإنشائي للجسور الحاملة ، المقررة توازناً ، والموثوقة من طرفيها . كما تناولنا بالحساب والتحليل ، الدعامات الإنشائية ، والأعمدة جزئاً منها .

انتقلنا في الفصل الثاني ، لدراسة كافة الجمل الإنشائية المعروفة ، ابتداء من الجملونات المستوية الأطر الفراغية ، وأطر الوصلات الصلدة ، مروراً بالجسور المستمرة ، الإطارات الحاملة ، والمنشآت السطحية ، متتهين بحساب وتحليل المنشآت الخاضعة لقوى شد صرفة .

تناول الفصل الثالث ، التعاريف والمصطلحات الأساسية ، التي مرت بنا ، أثناء تناولنا لأبحاث الجزئين الثاني والثالث . إضافة إلى احتواء الفصل لجداول وحسابات توضيحية ، تناولنا فيها ، ومن خلال جداول جاهزة ، أنواعاً شتى من الجسور الحاملة .

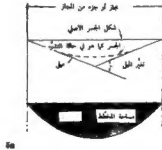
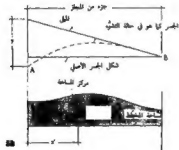
الفصل الأول

التحليل الإنشائي للعناصر الإنشائية الحاملة.

● المقدمة :

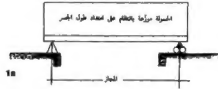
الجسور ، وثانيها الدعامات الإنشائية ، بما فيها الأعمدة .

سنناول في هذا الفصل ، بالدرس والتحليل ، عنصرين هامين من العناصر الإنشائية الحاملة ، أولها



● الجسور

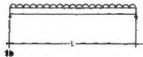
- 1.01- : الجسور إما عناصر مقررة سكونياً ، أو عناصر غير مقررة سكونياً . تكون الجسور مقررة سكونياً ، إذا أمكن التوصل من خلال نظريات التوازن فقط ، إلى تحديد عزوم الإنعطاف ، وقوى القص المؤثرة عليها . سنتناول أولاً الجسور المقررة سكونياً ، بينما ستعالج الجسور غير المقررة سكونياً ، في الفقرة (1.24) .
- 1.02- : إن الجسور المقررة سكونياً ، هي جسور إما استنادها بسيط ، أو على شكل جسور ظفرية .



الشكل (1-1-أ) : نفترض أن المسد في كل طرف عبارة عن مفصلة تامة وإن الطرف الأيمن يمكنه التحرك أفقياً .

● الجسور ذات الاستناد البسيط :

1.03- : نرى توضيحاً للجسور ذات الاستناد البسيط ، في الشكل (1-1-أ) . إن الحالة هذه نفترض ، استناد كل طرف من طرفي الجسر ، على مسند بسيط ، على شكل مفصل كامل ، على أن يكون أحد هذين المسدين ، حراً أيضاً ، لكي يتسنى للجسر التحرك أفقياً . يمكننا تمثيل الجسر هذا بحمولته ، كما هو موضح في الشكل (1-1-ب) . إن مجموعة الحالات والظروف المثالية هذه ، نادراً ما نجد لها مثيلاً على أرض الواقع . إلا أن هناك ضرورة ، تدعونا لتبني مجموعة الافتراضات هذه ، لكي يمكننا أن نصل من خلالها ، إلى نظرية عملية قابلة للتطبيق .



الشكل (1-1-ب) : يوضح الشكل الطريقة الاعتبارية المثبتة لتوضيح الجسر الموضح في الشكل (1-1-أ) ، كما يظهر طريقة التعبير عن الحمولة الموزعة بانتظام .

الشكل (1-1) : يوضح الشكل جسرًا بمسد بسيط .

- 1.04- : لفترض أنّ المسافة ما بين محوري مستدي الجسر ، تساوي «L» ، وإنّ الجسر خاضع لحمولة واحدة أو أكثر . تدرج الحمولات نظرياً ، ضمن أنواع ثلاثة :
- (١) - حولات مركزة يرمز لها بـ (P) .
- (٢) - حولات موزعة بانتظام ويرمز لها بـ (W) أو (w) .
- (٣) - حولات موزعة بشكل عشوائي .
- 1.05- : يفترض بالحمولات المركزة ، أن تعمل في نقطة بعينها . لكن عملياً ، يوجد لنقطة التأثير دوماً ،

(ينبغي أن يساوي مجموع عزوم القوى هذه صفراً ، لكي تظل الجملة في وضعية توازن)



الشكل (١-٢ ج) : يوضح الشكل الأبعاد المستخدمة في حساب عزوم انعطاف نقطة تأثير القوة المركزة .

امتداد ولو قصير . مثال ذلك ، ما نشاهده في الأبنية ، حيث يمكن تحميل عمود على جسر ، فنكون قاعدة العمود ، هي مجاز تأثير الحمولة ، أنظر الشكل (١-٢ أ) . تمثل الحمولة ، كما هي في الشكل (١-٢ ب) ، لكي يسهل علينا إجراء الحسابات .

1.06- : تولّد القوة المركزة في النقطة (B) ، في الشكل (١-٢ ب) ، ردّي فعل في النقطتين (C,A) ، يرمز لها كما هو موضح بالشكل بالرمزين (Rc,Ra) . تؤخذ عزوم مجموعة القوى حول النقطة (A) :

$$20000 \times 3 - R_c \times 6 = 0$$

$$R_c = 10000 \text{ N} = 10 \text{ KN}$$

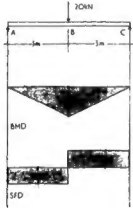


الشكل (١-٢ أ) : يظهر الشكل جسراً ذي مسند بسيط معرض لحمولة مركزة تقع في وسط المجاز .

$$M_b - 10 \times 3 = 0 \quad \text{و} :$$

$$M_b = 30 \text{ KNm}$$

1.09- : يمكننا الآن ، وبعد أن قمنا بإجراء الحسابات ، رسم مخطط القص (SFD) ، ومخطط عزم الإنعطاف (BMD) ، أنظر الشكل (٢ - ١ - ب) .



29

الشكل (٢ - ١ - ب) : يوضح الشكل التمثيل التخطيطي للجسر ، كما يظهر طريقة تمثيل ردود الأفعال المتولدة عند التغطتين (C ، A) وكذلك طريقة التعبير عن الحمولة المركزة المتساوية لـ (20 kN) والمؤثرة في النقطة (B) . يظهر الشكل أيضاً مخططي العزم والقص .

1.07- : لتخيل الآن . أن الجسر قد اقتطع عند النقطة (B) مباشرة ، وهي نقطة تطبيق الحمولة . تنقسم الحمولة المطبقة على نصفي الجسر بالتساوي ، وبهذا يصبح رد الفعل عند النقطة (C) هو :

$$R_c = 10 \text{ kN}$$

وعندها تصبح قوة القص تساوي عند النقطة (B) :

$$S_b$$

ويكون عزم الإنعطاف عند النقطة (B) : M_b .
1.08- : ندرس القوى هذه ، المؤثرة على جزء من الجسر ، الواقع ما بين نقطة القطع والنقطة «c» ، تحت ضوء كون جزء الجسر هذا ، جزءاً متوازناً .
وذلك بتحليل القوى على محور شاقولي أنظر الشكل (٢ - ١ - ب) .

$$S_b - R_c = 0$$

وذلك بأخذ العزوم حول النقطة (B) ، أنظر الشكل (٢ - ١ - جـ) .

$$M_b - R_c = 0$$

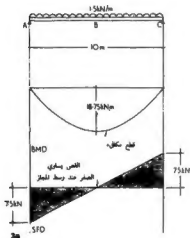
$$S_b - 10 = 0 \quad \text{لهذا :}$$

$$S_b = 10 \text{ kN}$$

$$S_b = R_c - 1.5 \times 5 = 0$$

$$S_b = 7.5 - 7.5 = 0 \quad \text{أو}$$

يوضح الشكل (١-٣-أ) مخطط العزم (BM)، ومخطط القص (SF).



الشكل (١-٣-أ): يوضح الشكل جسراً محمولاً على مستدين بسيطين ومحملاً بحمولة موزعة بانتظام، كما يظهر الشكل مخطط العزم ومخطط قوى القص.

1.10- خضع الجسر الموضح في الشكل (١-٣)،

لحمولة موزعة بانتظام، بمعدل (1.5 kN/m)، على امتداد جاز مسافته (١٠) أمتار. يمكن لإجراء الحسابات، تطبيق القواعد السابقة، كما يمكن استغلال التناظر في توزيع القوى، لاستنتاج قيم ردود الفعل.

$$R_a = R_c = \frac{1.5 \times 10}{2} = 7.5 \text{ kN}$$

1.11- يمكننا حساب مقدار عزم الإنعطاف في

النقطة «B»، الواقعة في وسط المجاز، بنفس الطريقة، أنظر الشكل (٣-٣-ب):

$$M_b = R_c \times 5 + 1.5 \times 5 \times 2.5 = 0$$

إن محصلة القوى الموزعة بانتظام، والموزعة على نصف مجاز الجسر، تعمل في مركز ثقل الحمولة الموزعة بانتظام، والمؤثرة على نصف المجاز فقط، أي أنها تؤثر في نقطة واقعة في ربع المجاز، أو في مثالنا، عند نقطة تبعد عن النقطة (C)، مسافة قدرها (2.5) م:

$$M_b = 37.5 - 18.75 = 18.75 \text{ kNm}$$

1.12- تحسب قوة القص عند النقطة (b)، بتطبيق

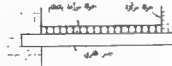
العلاقة التالية:

حرك مرآة بانتظام نساري (1.5x300)

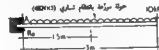


الشكل (١-٣-ب): يوضح الشكل الأبعاد المستعملة لاستنتاج عزم الإنعطاف الأعظمي وهو العزم الخاص بالنقطة تقع في وسط المجاز.

1.13- : تشير الأمثلة هذه ، إلى الطرق المتبعة لحل المسائل ، اعتماداً على المادية الأولية . يمكن أن نحصل على الصيغ المياريّة ، من جداول أعدت لهذه الغاية ، أنظر الفصل الثالث من الجزء الثالث ، اللوحة (١) . كما استخدمت في اللوحين (٣٧) ، العلاقة $\frac{WL^2}{8}$ و $\frac{WL^2}{8}$ ، حسب مقتضى الحال ، مع ملاحظة أن (W أو w) ، تعني الحمولة المطبقة ، و L تعني طول المجرى .



الشكل (١-٤) : يظهر الشكل جسرًا ظاهرياً بسيطاً بجواري موزعة بانتظام وعاضداً أيضاً عند نهايته الطرفيّة إلى قوة مركزة .



الشكل (١-٥) : يظهر الشكل الأبعاد المستخدمة في حساب خططي العزم وقوى القص .

• الأظفار :

1.14- : إنّ الجسر الممتد ، والموثوق من الطرف اليساري ، الموضّح في الشكل (٤-٣) ، يتعرض لأوزان محمولة على الوثافة (A) ، المتواجدة على الطرف اليساري للجسر ، حيث يتولّد رد الفعل (Ra) ، وعزم التثبيت الطرفي (Ma) . يصاغ الطرف اليساري (A) ، على شكل وثافة ، أو على شكل جزء مدفون ضمن الجدار .

1.15- : يمكن ببساطة إجراء الحسابات الكفيلة باستنتاج رد الفعل (Ra) ، والعزم (Ma) ، استناداً إلى قوانين ومفاهيم التوازن .

نلاحظ في المثال الموضّح في الشكل (٤-١) ، أنّ التحليل الشاقولي يعطينا العلاقة التالية :

$$Ra - 4 \times 3 - 10 = 0 \quad \Leftarrow$$

$$Ra = 22 \text{ KN}$$

أخذنا للعزم حول النقطة (A) ، تعطينا العلاقة التالية :

$$Ma - 4 \times 3 \times 1.5 - 10 \times 3 = 0 \quad \Leftarrow$$

$$Ma = 48 \text{ KNm}$$

• تشوهات الجسور :

1.16- : تحسب أيضاً الإجهادات ضمن مادة الإنشاء ، لكي نستطيع التنبؤ بحركة المنشأة . نحري بعدئذ تقييم لحركة كل عنصر من عناصر المنشأة على حدى . يمكن لكل عنصر من العناصر المكونة للمنشأة ، التحرك وفق شكل من الأشكال الثلاثة التالية :

١- يمكن للعنصر أن يستطيل أو يتقلص ، نتيجة تولد ردود فعل داخلية ، تقابل بها المادة إجهادات ، تلقاها بشكل مباشر . ونحسب ردود الفعل الداخلية هذه ، المثلة بحركة العنصر ، من العلاقة التالية :

التشوه = الطول × قيمة الإنفعال

الطول × الإجهاد

التشوه =

عامل يونغ (E) .

حيث «E» عامل المرونة المسمى عامل يونغ .

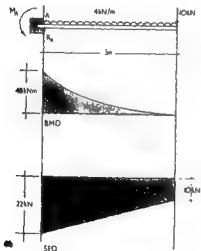
٢- يمكن للعنصر أيضاً أن ينحني .

٣- يتعرض العنصر أيضاً لمزوم وقوى قتل .

1.17- : إنَّ انحناءات العنصر ، تشوهات يصعب

حسابها ، خصوصاً عندما تكون تلك التشوهات ، ناشئة

عن إجهادات لا تتوزع بانتظام ، على كامل طول العنصر المدروس ، مما يدعونا إلى استخدام قوانين التفاضل والتكامل ، لمعرفة شكل وقيم انحناءات مختلف نقاط العنصر هذا .



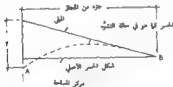
الشكل (٤ - ١ - ب) : يظهر الشكل خططي المزم وقوى القص .



6a

الشكل (5-1-أ): يشرح الشكل مداول النظرية الأولى ويوضح أن تغير الميل يساوي مساحة المخطط $\frac{M}{EI}$. وهذا

صحيح سواء أكان التغير على جزء من الجسر أو على كامل طول الجسر .



6b

هناك نظريتين ، نستطيع بها حساب وحل المشاكل البسيطة ، لظاهرة انحناءات العناصر ، بحيث يتبدان بنا ، عن استخدام قوانين رياضية معقدة . على أي حال ، هناك براهين تثبت القوانين المدرجة فيما يلي ، إلا أننا هنا ، سنقبلها كما هي دون برهان ، لعدم حاجة المماري ، إلى تفاصيل البراهين وتعقيداتها .
- النظرية الأولى :

1.18- : إن التغير الحاصل في الميل ، على مدى طول معطى ، يساوي مساحة المخطط $\left(\frac{M}{EI} \right)$

عزم الإنعطاف

والذي يساوي :

حاصل يونغ × عزم المطالة

على ذلك الطول .

- النظرية الثانية .

1.19- : إن المسافة الشاقولية (y) ، التي يمتد بها النقطة (A) ، الواقعة أسفل المماس عند B= ، تساوي عزم مساحة المخطط $\left(\frac{M}{EI} \right)$ ، المرسوم على القطعة (AB) ، مأخوذاً حول النقطة (A) .

الشكل (5-1-ب) : يشرح الشكل النظرية الثانية ويوضح أن مسافة التثقيب الحاصل في جزء من جواز يساوي عزم مساحة المخطط $\frac{M}{EI}$ أي :

$$y = x'x \quad \frac{M}{EI}$$

1.20- : في معظم الحالات ، تكون مادة الإنشاء

متجانسة ، وبالتالي عمل يونغ ، واحداً في كافة نقاط

العنصر ، وكذلك يكون مقطع العنصر ثابتاً ، عل كامل

طول العنصر ، وبالتالي يكون عزم المعطالة (I) ، واحداً

لكافة نقاط العنصر .

من كل هذا نستنتج ، أنه يمكن أن يمثل مخطط عزم

الإنعطاف ، محل المخطط الممثل للمساحة $(\frac{M}{EI})$.

ويبقى العامل «EI» ، ضرورياً فقط لحساب قيم التشوه أو

زوايا الميول .

1.21- : لتوضيح كيفية تطبيق النظريتين هاتين ،

نتابع المثال الموضح في الشكل (٦-١) . إن مخطط عزم

الظفر ، الموضح في الشكل (٦-١) ، هو مثلث مساحته

$(\frac{PL^2}{2})$ ، وابتعاد مركز ثقل المساحة هذه ، عن النقطة

(A) ، يساوي $(\frac{2L}{3})$. إن الجسر الظفري ، هو

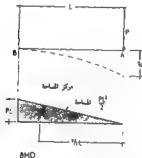
جسر أفقي ، عند النقطة (B) ، لذا كان الميول المأر من

النقطة (B) ، أيضاً خطأً أفقياً . وبالتالي كان التشوه عند

(A) ، الممثل بالطول (y_a) يساوي لعزم مساحة المخطط

$(\frac{M}{EI})$ ، حول النقطة (A) .

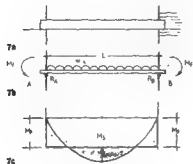
$$y_a = \frac{PL^2}{2EI} \times \frac{2}{3} L = \frac{PL^3}{3EI}$$



الشكل (٦-١) : إن مساحة التشوه في جسر ظفري (y_a) يساوي $(\frac{PL^3}{3EI})$ هذا يعني أنه يساوي العزم الأول لمساحة المخطط

$(\frac{M}{EI})$ حول (A) .

واحد ، يتولد عند الوثاقة ، لذا يعود الجسر ليصبح مقراً
سكونياً ، إن أزيلت وثاقته الثانية . إذاً يتولد في الجسور
موثوقة الطرفين ، عزم إضافي عند كل طرف من طرفيها
الموثوقين .



1.22 - عملياً ، يوضع الجسر التقري غالباً ، عند
نهاية امتداد جسر مستمر ، لذا لا يكون الجسر عند النقطة
(B) ، جسراً أفقياً ، وبالتالي يزداد التشوه عند النقطة (A) ،
بازدياد زاوية الميل عند النقطة (B) ، وهي التي تحسب
مضروبة بالطول «م» .

1.23 - إن تشوهات الجسور ، لا تحسب استناداً إلى
القواعد والقوانين البسيطة هذه ، وذلك ناشئ من أن
الجداول المعيارية ، للعناصر المقررة سكونياً ، غالباً
ما تعطينا الحمولات المناسبة للجسور ، والكتيلة بعدم
إحداث تشوهات بها . لذا كان الإستخدام الحقيقي ،
لنظريات حساب الميول والتشوهات ، يمكن في المنشآت
غير المقررة سكونياً .

● الجسور موثوقة الطرفين :

1.24 - إن الشكل البسيط للمنشأة غير المقررة
سكونياً ، هي الجسر الموثوق من طرفيه ، أنظر الشكل
(١-٧) . إن الجسر المقرر سكونياً ، هو الجسر المستند
على مستدين بسيطين ، أو ذلك الموثوق من طرف واحد .
في الجسور الموثوقة من طرف واحد ، هناك عزم إضافي

الشكل (١-٧-أ) : يظهر الشكل أحد أشكال الجسور موثوقة
الطرفين .

الشكل (١-٧-ب) : يوضح الشكل بخطوط العزم المسروبة في
الفقرة (1.25)

$$\text{عزم المستد الحر} = \frac{W L^2}{12}$$

$$\text{عزم الطرف الموثوق} = \frac{W L^2}{12} = M_e$$

- 1.25 : تتخذ عزوم الإنعطاف ، في الجسور موثوقة

الطرفين ، شكلين أساسيين :

١ - عزم انعطاف المسند الحر « $M_{\text{حر}}$ » ، والذي يحدث على جسر مكافئ مقرر سكونياً .

٢ - عزم انعطاف الطرف الموثوق « $M_{\text{موثوق}}$ » وهو عزم يتخذ خطاً مستقيماً ، ممتداً على طول الجسر . يتحدد مقدار العزم هذا ، بمقدار العزم عند كل طرف .

لنستفد من المعادلة المحددة لقيمة ميل الجسور ،

وهي هنا تساوي صفراً ، لحل الجسور الموثوقة من طرفيها ، من أمثال التشوهات هذه ، لذا كانت قيمة مساحة مخطط التشوه $\frac{M}{EI}$ تساوي صفراً .

إن مساحة مخطط عزم انعطاف المسند الحر ، مساو

ومعاكس في الإشارة ، لمساحة مخطط عزم انعطاف الطرف الموثوق .

نتيجة لكون الجسر متجانس ومتناظر ، فإن العزم

عند الطرف الموثوق الأول ، مساو للعزم عند الطرف

الموثوق الثاني ، وبذا تكون مساحة مخطط عزم الطرف

الموثوق تساوي ($M_{\text{مL}}$) .

من كل ما سبق نستنتج أن :

$$M_{\text{مL}} = \frac{2}{3} M_{\text{سL}}$$

(لكون مساحة عزم الإنعطاف هي مساحة قطع

مكافئ ، وبالتالي تساوي $\frac{1}{3}$ مساحة المستطيل المحيط

بمسأله) .

$$MF = \frac{2}{3} \frac{Wc^2}{8} = \frac{Wc^2}{12}$$

• مثال يتضمن تحليلاً إنشائياً لظفر محمول على

مستند :

1.26- : يظهر الشكل (A-1) ، مخططاً توضيحياً

للجسر هذا .

1.27- : نحسب أولاً قيمة العزم «BMD» . إنَّ خط

المماس عند النقطة (A) ، هو خط أفقي ، وذلك لكون

النقطة (B) ، نقطة محمولة على مستند داعم ، لذا لا توجد

مسرَّبات ، تدعو إلى تشوُّه الجسر ، وبالتالي فإنَّ عزم

مساحة مخطط التشوُّه ، حول النقطة (B) ، يساوي

صفرًا . أي :

$$M_F \times \frac{L}{2} \times \frac{2}{3} L = \frac{2}{3} \times \frac{WL^2}{8} \\ \times L \times \frac{L}{2}$$

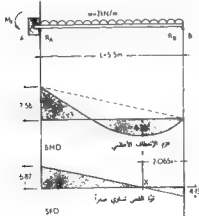
حيث :

$$M_F \times \frac{L}{2}$$

مساحة المثلث التشكُّل ما بين «R_A» و «R_B» ،

الموضح منقطعاً على مخطط عزم الإنعطاف في الشكل

(A-1) .



الشكل (A-1) : يوضح الشكل مخططات جسر موثوق من طرف

ومحمول من الطرف الآخر ، وهو توضيحاً لما جاء في الفقرات ابتداء

من الفقرة (1.26) إلى الفقرة (1.33) . للاحظ أنَّ العزم الأعظم يقع

في نقطة تكون فيها قوى القص تساوي صفرًا

المسافة المحصورة ما بين (R_B) وبين مركز ثقل = $\frac{2}{3} L$ المساحة هذه

مساحة القطع المكافئ وهي المساوية لثلاثي مساحة = $1. \times \frac{WL^2}{8} \times \frac{2}{3} L$ المستطيل المحيط بالقطع المكافئ هذا .

المسافة المحصورة ما بين مركز ثقل مساحة القطع = $\frac{L}{2}$ المكافئ وبين النقطة (R_B) .

$$MF = \frac{W L^2}{8} = \frac{2 \times (5.5)^2}{8} = 7.56 \text{ KNm}$$

- 1.28 : تحسب ردود الفعل الشاقولية (R_B , R_A) ، المتولدين عند طرفي الجسر ، بأخذ العزوم حول كل طرف على حدى .

نأخذ العزوم حول «A»

$$R_B \times L + M_F - \frac{W L^2}{2} = 0$$

ينبغي أن تساوي مجموع العزوم صفراً ، لكون المنشأة متوازنة

$$R_B = \frac{2 \times 5.5}{2} = \frac{7.56}{5.5} \Rightarrow$$

$$R_B = 5.5 - 1.37 = 4.13 \text{ KN.}$$

نأخذ العزوم حول (B) :

$$R_A \times L - M_F - \frac{W L^2}{2} = 0$$

$$R_A = 5.5 + 1.37 = 6.87 \text{ KN.}$$

نتحقق من صحة النتائج ، بإسقاط القوى على محور شاقولي ، فنجد أن :

$$4.13 + 6.87 - 2 \times 5.5 = 0$$

من المعادلة نجد أن محصلة القوى ، على محور شاقولي يساوي صفراً ، وهذا يحقق لنظرية التوازن .

- 1.29 : إن حساب قيمة العزم الموجب الأعظمي ،

المتواجد على نقطة من مجاز الجسر ، هي من العمليات الحسابية السهلة ، وذلك نتيجة لكون النقطة ذات العزم الأعظمي ، يقابلها قوة قص تساوي صفراً (إثبات ذلك ، يتضمن حسابات لن ندخل فيها ، لعدم حاجة المعاري إلى معلومات تفصيلية) .

1.39- : لنفترض أنَّ النقطة التي فيها قوى القص تساوي صفراً ، تبعد مسافة تساوي (x) متراً ، عن النقطة «B» ، مقاسة على محور يتجه باتجاه «A» . لنحلل القوى الشاقولية ، المؤثرة على القطعة (XB) :

$$W \times x - R_B - S_x = 0$$

حيث :

S_x : هي قوة القص عند النقطة (x)
ولكن : $S_x = 0$ ، إذ أنَّ «x» هي المسافة المحددة لبعد نقطة ، قوة القص عندها تساوي صفراً .
لذا تكون «x» هي :

$$x = \frac{R_B}{W} = \frac{4.13}{2} = 2.065 \text{ m}$$

نأخذ عزوم القوى المنتشرة على القطعة «XB» ، حول «B» :

$$M_B - \frac{Wx^2}{2} = 0$$

حيث :

$$M_B = \text{عزم الإنعطاف عند «B»} .$$

$$M_B = \frac{2 \times (2.065)^2}{2} \approx 4.26 \text{ KNm}$$

1.38- : لنحسب الآن الإجهادات الأعظمية في الجسر . لنفترض أنَّ مقطع الجسر هو مستطيل أبعاده (250 × 75) ملم . فيكون مساحة المقطع :

$$250 \times 75 = 18750 \text{ m.m}^2 .$$

إنَّ العزم الثانوي للمساحة «I» ، حول المحور الطيبي هي :

$$\frac{bd^3}{12} = \frac{75 \times (250)^3}{12} = 98 \times 10^6 . \text{mm}^4$$

من معادلات العزم السابقة :

$$\frac{M}{I} = \frac{f}{y}$$

حيث :

f = الإجهاد

y = بعد الألياف النهائية عن المحور الطيبي .

$$f = \frac{M}{I} y$$

إنَّ القيمة العظمى للعزم «M» هو M_F ، والقيمة العظمى لـ «y» هي عند أعلى وأسفل المقطع .

نشتق وحدة الإجهاد ، من وحدات مكوّنات
علاقتها ، حيث تقاس مكوّنات العلاقة بالوحدات
التالية :

$$f = \frac{M(KNm)}{I(m^4)} \times y (m.m)$$

ينبغي توحيد الوحدات ، لكي يتسوّى حساب
القيمة الصحيحة ، لذا نجري تحويلاً لقيمة وحدة العزم ،
مضرب قيمتها بالعدد (10^3) ، لتتحوّل وحدة القوة المقدّرة
بـ (KN) إلى (N) ، فتصبح حصيلة العدد المضروب هي
 (10^6) . إذاً .

$$f_{max} = \frac{7.56 \times 10^6}{98 \times 10^6} \times 125 = 9.64 \text{ N/mm}^2 .$$

- 1.32 : إنّ قوّة القصّ الأعظمية ، تقع عند النقطة
(R_A) ، وتساوي (6.87 KN) ، أنظر الشكل (٨ - ١) .
إنّ إجهاد القصّ الأعظمي ، عل المقطع ذي
الشكل المستطيل ، يعادل مرّة ونصف ، الإجهاد
الوسطي :

$$S_{max} = \frac{R_A}{(b \times d)} \times 1.5$$

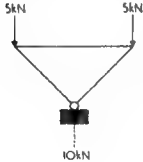
$$S_{max} = \frac{6.87 \times 10^3}{18750} \times 1.5 = 0.55 \text{ N/mm}^2$$

- 1.33 : من الصعب حساب التشوّه الأعظمي ،
الناشئ عن تأثير الحمولة المطبقة . إلّا أنّه يمكننا من
الجداول ، معرفة قاعدة التشوّه الأعظمي ، وهي تساوي
 $\frac{W m^4}{EI}$ ، وإذا يمكن حساب التشوّه الأعظمي
للمادة ، بعد معرفة العامل (E) ، الممثل لعامل مرونة
المادة ، المعروف بعامل يونغ ، وهي عوامل معلومة ،
تنظّمها جداول خاصة .

● العناصر الإنضغاطية :

2.01 : القوائم أو الدعامات الإنضغاطية ، هي عناصر إنشائية ، معرضة بشكل خاص ، إلى قوى الضغط . غالباً ما تشير كلمة دعامات إنضغاطية ، إلى عناصر ليست بعناصر شاقولية ، وخاضعة لقوى ضغط معينة . بينما تسمى الدعامات الإنضغاطية الشاقولية ، بالأعمدة ، الدعامات ، أو الأوتاد ، إذ يتحكم باختيار اللفظة المناسبة ، نوعية المادة المكونة للدعامة الإنضغاطية

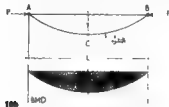
الشاقولية . فالدعامات غالباً ما تصنع من مواد معدنية ، بينما تصنع وتشاد الأوتاد ، من مواد حجرية أو بناية .
2.02 : تعتمد نظرية العناصر الإنضغاطية ، على مفهوم الإنزاع اللامستقر . يوضح الشكل (٩-١) ، مفهوم الإنزاع اللامستقر ، حيث تدفع كافة القوى ، لتطبيقات الإنزاع ، إلا أن أي تغير ، في أية قوة من القوى ، يؤدي إلى الإطاحة بنظام التوازن هذا .



الشكل (٩-١) : التوازن غير مستقر وإن أي تغير في تشكيلة المنظومة هذه ، سيكون مدعاة لإميار التوازن



الشكل (١٠-١): في الوصلات المسارية المعرضة لضغوط ، يتم نقل الضغوط كما هي إلى الدعمة الإنضغاطية ، ولا يتحول جزء منها إلى قوى شكل من أشكال القوى أو المزموم الأخرى .



الشكل (١٠-١ ب): إن ثلثت الدعامات قوى ضغط تشوهت . وكان مقدار المزموم الأعظمي يقع في الوسط وقيمته تساوي (P) .

الشكل (١٠-١): يوضح الشكل الضغوط الواقعة على دعمة انضغاطية .

إذا كان ضغط تشوه الدعمة الإنضغاطية ، هو ضغط لقطع مكافئ ، يطابق مسراه ، مسرى ضغط عزم الإنسطار ، فإن عزم أي نقطة (x) ، هو (Py) . من

2.03 : كل طرف من العنصر الإنشائي في الشكل (١٠-١ أ) ، هو على شكل وصلة مسارية ، يمكنها التحرك فقط ، باتجاه طول العنصر . إذا بقي العنصر مستقيماً تماماً ، كان الإجهاد الواقع على العنصر ، إجهاد ضغط ليس إلا ، وقيمته تتحدد بالعلاقة : $\frac{P}{A}$ حيث : قيمة الضغط = P ، مساحة المقطع = A . إذا تعرض العنصر إلى انحناء بسيط ، أنظر الشكل (١٠-١ ب) ، بحيث يتعرض المحور الطولي لتشوه بسيط عند المركز ، مسافة هبوطه يساوي (y) ، فإن عزم الإنعطاف عند المركز سيصبح يساوي (Py)

2.04 : إن التحليل الدقيق للتشوه ، يتطلب الإستعانة بقوانين التفاضل والتكامل ، إلا أن القاعدة التقريبية ، المدونة هنا ، يمكن لها أن تعطينا نتائج مشابهة ، أقرب ما تكون إلى الدقة .

النظرية الثانية ، المتخصص عنها في الفقرة (1.19) ، يمكن تركيب علاقة المساواة ، التي تربط مسافة التشوه عند النقطة (B) ، الواقعة فوق عماس النقطة (C) مركز ثقل العنصر الإنشائي ، وبين العزم الأولي ، لمساحة المخطط $\left(\frac{M}{EI} \right)$ ، الواقع على المحور (CB) ، والمحسوب حول النقطة (B) .

لهذا نجد أن :

$$y = \frac{2}{3} \times \frac{M_c}{EI} \times \frac{L}{2} \times \frac{5}{16} L = \frac{5}{48} M_c \times \frac{L^2}{EI}$$

لاحظ أن $\left(L - \frac{5}{16} L \right)$ ، هي المسافة من (B) ، إلى مركز ثقل المقطع المأخوذ من القطع المكافئ .
الآن : $M_c = P \times y$

لهذا تكون :

$$y \approx \frac{5}{48} \times \frac{PL^2}{EI} \times y$$

من العلاقة هذه نرى إما : $y = 0$
وبالتالي يمكن أن تأخذ العلاقة : $\frac{5}{48} \times \frac{PL^2}{EI}$ ، أية قيمة لها .
أو :

$$\frac{5}{48} \times \frac{PL^2}{EI} = 1$$

وبالتالي يمكن لـ «y» ، أن تأخذ أية قيمة لها .
لهذا لا يوجد قيمة للإنحناء ، يمكن لنا تقديرها ،
فما لو تعرضت الدعمة الإنضغاطية ، لقوى ضاغطة مقدارها (P) ، إلا إذا كانت قيمة القوة مساوية لـ $\left(\frac{48 EI}{5 L^2} \right)$.

بمعدل يأخذ تشوه مركز ثقل الدعمة الإنضغاطية يزداد بسرعة ، وتبدأ

الدعمة الإنضغاطية بالانحناء $\left(\frac{48}{5} \approx 9.6 \right)$ بينما تعطينا الحسابات الدقيقة ، معامل قريب يساوي (9.87) .

تدعى النسبة $\frac{L}{r}$ ، وهي مقلوب النسبة $\frac{r}{L}$ ، نسبة قصافة العنصر .

2.07 : وثبت ضمن جداول ، قيم إجهادات ضغط العديد من المواد ، مقابل قيم نسب القصافة ، بغية تسهيل الحسابات . بالطبع ينبغي أن لا تزيد الإجهادات الأعظمية ، عن إجهادات الضغط الأمانة لمادة العنصر ، مهما كانت قيمة نسبة القصافة .

2.08 : لا تقتصر نظرية الدعيات الإنضغاطية ، على عناصر تتلقى قوى ضغط فقط ، فشاه العناصر المعرضة لقوى ضغط ولي ، أيضاً عناصر غير مستقرة ، وإيجاد قيم إجهادات الضغط ، لأمثال تلك العناصر ، خاصة أيضاً للنظرية ذاتها . يعتمد عدم ثبات العنصر هنا ، على عدد من العوامل ، لذا تستخدم الجداول ، لتحديد إجهادات الضغط الأمانة .

2.05 : يستحسن عند التصميم ، البعد عن تطبيق القوة ، التي إن تجاوزناها ولو بقليل ، تتداعى الدعمة الإنضغاطية ، وتبدأ تشوهات بالتسارع . لذا ارتأى المصممون ، تخفيض هذه القوة إلى النصف ، تأكيداً للسلامة ، مما جعل القوة الأعظمية ، المسموح بتطبيقها على الدعمة الإنضغاطية تساوي :

$$\frac{48}{5} \times \frac{1}{2} \times \frac{EI}{L^2}$$

2.06 : إذا كان إجهاد الضغط يساوي « e » ، فإن :

$$P = e \times A$$

وبالتالي :

$$P_{c, max} = \frac{48}{5 \times 2} \times E \times \frac{1}{AL^2}$$

ونحن نعلم أن : $r^2 = \frac{I}{A}$ ، حيث « r »

نصف قطر دوران المقطع .

$$L_{c, max} = 4.8 E \left(\frac{r}{L} \right)^2 \quad \text{إذاً :}$$

● الضغط والإنحناء :

2.99- : تعدُّ الأعمدة ، المستخدمة في الآلية ، كمتاصر حاملة ؛ دعيات انضغاطية ، معرضة لإجهادي الضغط والإنثناء ، ناشئين عن تعرض الأعمدة أحياناً ، لحمولات لا مركزيّة . لذا كان من المهم أن نتدارس نظريّة ، تجمع تأثيرات الإجهادين معاً .

2.10- : تبلغ أبعاد مقطع العمود ، الموضّح في الشكل (١١ - ١ - أ) ؛ (250×450) ملم ، وهو خاضع لحمولة مقدارها (300 KN) ، ومعرضاً لعزم مقداره (4 KNm) . يعالج العمود هذا بطريقتين

٠ الطريقة الأولى :

2.11- : نحسب أولاً ، الإجهاد الناشئ عن حمولة

الضغط الصرفة :

$$f_c = \frac{P}{A} = \frac{300 \times 10^3}{450 \times 250} = 2.67 \text{ N/mm}^2$$

ضربت قيمة القوة (P) بـ (10³) لتحويل (KN) إلى

(N) .

لنحسب بعدئذ إجهادي الشد والضغط ، الناشئين

عن العزم :

$$f_c = f_t = \frac{M}{I} y$$

حيث :

$$I = \frac{bd^3}{12}$$

و :

$$y = \frac{d}{2}$$

إذاً :

$$f_c = f_t = \frac{4 \times 10^6}{250 \times 450^3/12} \times 225 = 0.47 \text{ N/mm}^2$$

لذا يساري إجهاد الضغط الأعظمي :

$$2.67 + 0.47 = 3.14 \text{ N/mm}^2$$

والإجهاد على الحافة المقابلة للمقطع هي :

$$2.67 - 0.47 = 2.2 \text{ N/mm}^2$$

أنظر الشكل (١١ - ب) .

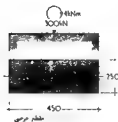
الأسلوب الثاني :

2.12- : نحول قوة وعزم الضغط ، إلى قوة لا مركزية ، فإذا كانت « » ، هي مسافة لا مركزية القوة ، فإنها تساوي :

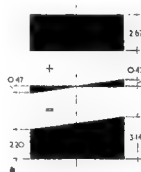
$$e = \frac{M}{P} = \frac{4 \times 10^3}{300} = 13.3 \text{ mm} .$$

2.13- : يوضح الشكل (١٢-١-أ) ، توزيع الإجهادات على مقطع عمود مستطيل الشكل . إن مساحة المخطط هذا ، تعادل قوة الضغط المساوية لـ (300 KN) . كذلك يتطابق مركز ثقل المساحة هذه ، مع نقطة تطبيق القوة لهذا يمكننا أن نجد الإجهادات الواقعة على أي حافة ، من حواف المقطع .
إن الأسلوب هذا ، أسلوباً هاماً ، كونه يغطي تصرفات المنشأة ، تحت ظروف متغيرة .

الشكل (١٢-١-ب) : يظهر الشكل الموضح في الأعلى الإجهادات الناشئة من حولة الضغط ، بينما يظهر الشكل الموضح في الوسط الإجهادات الناشئة من العزم الصال ، أما الشكل الموضح في الأسفل ، فيظهر قيم الإجهادات الناشئة من المحملة والعزم الصال معاً .

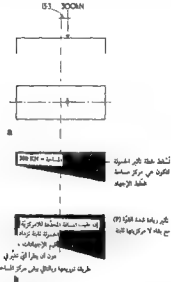


الشكل (١٢-١-أ) : المقطع عاصب لمحولة مركزة وعزم صاف ، النظرية الأولى ، أنظر الفقرة (2.11)



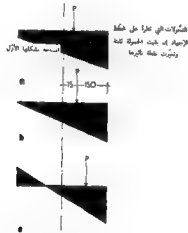
الشكل (١٢-١-ب) : المقطع مستطيل الشكل

2.14- : إذا زادت الحمولة ، دون تغير في لا مركزيتها ، أنظر الشكل (١-١٢-ب) ، فإن الإجهادات جميعاً تزداد ، بنفس نسبة زيادة الحمولة ، دون أن يطرأ تغير على توزيع الإجهادات .



الشكل (١-١٢-أ) : يوضح الشكل توزيع الإجهادات
الشكل (١-١٢-ب) : تؤثر زيادة حقل القوة على زيادة
الإجهادات إن بقيت لا مركزيتها ثابتة ، دون أن يطرأ أي تغير على
توزيع الإجهادات .

2.15- : إذا كانت لا مركزية القوة المركزة في ازدياد ، أنظر الشكل (١-١٣-أ) ، فإن الإجهادات على حافة الطرف اليسرى من المقطع تتناقص ، أنظر الشكل (١-١٣-ب) ، بينما تزداد الإجهادات على حافة الطرف اليميني للمقطع . عندما تصبح الإجهادات على حافة

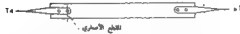


الشكل (١-١٣-أ) : يتناقص الإجهاد على الحافة اليسرى ، إلى أن
يصبح على ما هو عليه في الشكل (١-١٣-ب) .
الشكل (١-١٣-ب) : يتناهي الإجهاد على الحافة اليسرى إلى
الصفر ، ويتحول حقل الإجهاد إلى حقل متساوي الشدة ، إن
وقعت نقطة تأثير القوة ، على الثلث الأول الذي يلي منتصف
المقطع
الشكل (١-١٣-ج) : تبدأ إجهادات الشد في الظهور ، ابتداء
من النقطة التي تلي ثلث منتصف طول المقطع

• الروابط :

- 2.17 : يسهل إلى حد ما ، التعامل مع العناصر المعرضة لقوى شد صرفة . ولكن إذا كان العنصر أيضاً ، معرضاً لمزوم ، فإن معالجته تصبح مشابهة لمعالجة العناصر المعرضة لمزوم وقوى ضغط معاً . بما أنه لا توجد حالة عدم استقرار ، فإن العناصر المعرضة للشد ، يمكن اختيارها من العناصر النحيلة ، والنحيلة جداً ، كأن نستخدمها على شكل أسلاك ، أو على شكل شرائع رقيقة .

إن مساحة العنصر الخاضع لقوى الشد ، عند حساب الإجهاد ، هو مقطع أصغري ، وغالباً ما يكون متطابقاً مع فتحة في العنصر ، أنظر الشكل (١٤ - ١) .



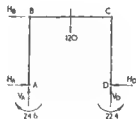
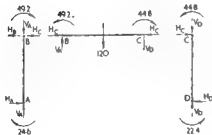
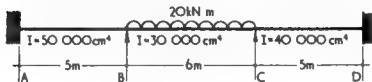
الشكل (١٤ - ١) : في عناصر الشد ، كما في الرابط الموضح في الشكل هذا ، يستخدم في الحساب ، مساحة المقطع الدنيا .

الطرف اليساري مساوية للصفر ، أنظر الشكل (١٣ - ١ - ب) ، يتحول مخطط الإجهاد ليصبح مثلثي الشكل . إن مركز ثقل مخطط الإجهاد عندها ، سيبتعد عن الطرف البيني للمقطع ، مسافة تساوي ثلث طول قاعدة المثلث ، وبالتالي سيبتعد عن محور العمود مسافة تساوي سدس طول مقطع العمود . لذا كانت المنطقة الواقعة في منتصف ثلث العمود ، من الأهمية بمكان ، إذ أن الحمولة إن لم تغادر المنطقة هذه ، فإنه لا توجد إجهادات شد على المقطع ، أما إذا كانت الحمولة ، خارج منتصف ثلث المقطع ، فإن جزءاً من المقطع ، يتعرض لإجهادات شد ، أنظر الشكل (١٣ - ١ - ج) . إن ما درسنه ليس دوماً خطراً ، ولكن بعض المواد ، قد تتعرض لإجهادات شد بسيطة جداً ، ومع ذلك تحدث بها تغيرات جوهرية ، فتأثر بذلك تصرفات وسلوكية المقطع .

- 2.16 : من الممكن أن تزداد لامركزية الحمولة ، كأن نتركز خارج المقطع ، وبذا يصبح المزم ، أكثر أهمية من قوى الضغط ، وعندها ينبغي معاملة العمود ، معاملة الجسر .

الفصل الثاني

التحليل الإنشائي لمختلف أنواع الجمل الإنشائية المعروفة.



● المقدمة :

1.01 : بعد أن تناولنا الإجهادات ، التي تصيب مواد الإنشاء ، وبعد أن تعرّضنا لأساليب التحليل الإنشائي ، لبعض العناصر الحاملة ، كان لابدّ لنا من استقصاء الأساليب والنظم الإنشائية .

1.02 : ندرج نظم الإنشاء ، ضمن التصنيفات التالية :



الشكل (1-2-1أ) : يظهر الشكل منشأ ميكانيكي مقفها على شكل جازز شبكي ، عناصره موصولة بعضها ببعض ، وفق وصلات مسارية .



الشكل (1-2-1ب) : يظهر الشكل منشأ ميكانيكي ، مقفها على شكل جازز فيرنديل وصلاته صلبة

1- المنشآت الميكانيكية ، وفيها تكون الوصلات مسارية «ذكر وإنشئ» ، وكمثال عليها ، السطح المؤلف من جوائز شبكية ، أنظر الشكل (1-2-1أ) . ووصلات صلبة ، أنظر إطار فيرنديل ، الشكل (1-2-1ب) .

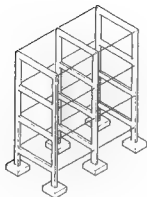
2- منشآت سطحية ، وكمثال عليها القشرية الموضحة في الشكل (1-2-1ج) .



الشكل (1-2-1ج) : يظهر الشكل جالونات سطحية شائعة الاستخدام ، وهي منشآت ميكانيكية ذات وصلات صلبة ، تحلّل غلقياً وكأنها وصلات مسارية .



الشكل (1-2-1د) : يظهر الشكل جسراً مستمراً ، وهي منشأة تصنع فيها عواصل كل من المنشآت الميكانيكية وتلك السطحية



الشكل (١-٢-٥) : يظهر الشكل إطاراً حائلاً ، يحلّل باعتباره سلسلة من الأنظمة المستوية .



الهندسات الأربع تشبه هذه الهندسات الست تشبه هذه

الشكل (١-٢-٦) : يظهر الشكل نموذج لنظام مؤلف من بلاطات مستوية ، معقّدة فوق بعضها البعض على شكل أبنية متعلّدة الطوابق . تحلّل أمثال تلك المنشآت وكأنّها منشآت هيكلية

١.٥٣ : هناك طرز إنشائية أخرى ، يتألف كلّ منها ، من مجموعة من العناصر المتألّفة ، وبذا يشابه نظام الجسر المستمر ، إلى حدّ ما ، منشآت الوصلات الصلدة ، كما يشابه أيضاً في جزء منه ، منشآت الوصلات المسارية (عند المساند) ، أنظر الشكل (١-٢-٥) .

١.٥٤ : يعدّ التحليل الرياضي للمنشآت ، بمثابة تصنيع نموذج للمنشأة . كما تعدّ الجمل الإنشائية المحلّلة ، بمثابة جمل نموذجية ، يمكن الإقتداء والاعتماد بها .

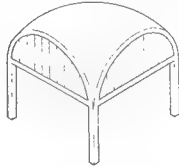
١.٥٥ : للمنشأة المشادة على الواقع ، ثلاثة أبعاد ، إلّا أنّنا أثناء التصميم ، وبغية تبسيط وتسهيل إجراء الحسابات ، نعمل على تجزئة المنشأة هذه ، إلى عدد من الجمل الإنشائية المستوية ، ذات البعدين . يعدّ إطار المبنى في الشكل (١-٢-٥) ، مثلاً للمعالجة هذه .

١.٥٦ : غالباً ما تحلّل المنشآت السطحية ، كما لو أنّها منشآت هيكلية . تحلّل المنشأة متعلّدة الطوابق ، المؤلفة من بلاطات مستوية ، كالوضحة في الشكل (١-٢-٦) ، وكأنّها جزأين منفصلين ، تشابكا من خلال وصلات صلدة ، كما في المنشآت الهيكلية .

- 1.07 : تحلل غالباً الوصلات الصلدة للمنشآت

اهيكلية ، كما لو أنها وصلات مسارية . وبعد السطح الشائع ، المؤلف من جوائز شبكية ، مثلاً يحتذى في ذلك ، أنظر الشكل (١-٢-ح) ، حيث تؤلف الروافد ، عناصر إنشائية مستمرة ، كبيرة الأبعاد .

- 1.08 : يعتمد الحل الموفق للمشكلة الإنشائية ، على الاختيار الدقيق للجملية الإنشائية ، إذ أن لكل جملة إنشائية ، أسلوب خاص ، تتم من خلاله ، إنجاز عملية التحليل الإنشائي



الشكل (١-٢-هـ) : يظهر الشكل نموذج قشري ، وهي واحدة من المنشآت السطحية

● الجبالونات المستوية المقررة توازنياً :

- 2.01 : يمكننا في الجبالونات المستوية المقررة توازنياً

هذه ، تحديد وتعيين كافة القوى ، بصرف النظر ، عن أبعاد أو مادة العنصر . تعد الجوائز الشبكية هذه ، النموذج الأولي ، للجملية الهيكلية ذات الوصلات المسارية .

- 2.02 : إن كافة عناصر الجوائز الشبكية هذا ، عناصر ثامة الإستقامة ، وكلها مرتبطة ببعضها وفق وصلات مسارية ، إضافة إلى أن كافة الحمولات وردود الأفعال ، تتركز عند مواضع تواجد الوصلات ، وهذا تضمن خلو كافة العناصر ، من كافة أنواع العزوم المروقة . عند حساب الجبالونات ، يعمل الاحتكاك في العقد ، وكذلك وزن القضبان (بالمقارنة مع الأثقال الخارجية) ، أو توزع أوزانها على العقد . تؤثر على كل قضيب من قضبان الجبالون قوتان عند نهايته ، وفي حال الإلتزان ، يمكن أن تتجه هاتان القوتان ، على امتداد القضيب فقط ، لذا كانت قضبان الجبالون إما مشدودة أو مضغوطة فقط .

سنكتفي هنا ، بدراسة الجبالونات المستوية الصلبة (المتناسكة) ، المكوّنة من مثلثات ، والتي لا تحتوي على قضبان إضافية في هذه الجبالونات ، يرتبط عدد القضبان (K) ، بعدد الوصلات (n) ، بالملاقة التالية :

$$K = 2n - 3$$

فإذا قلّ عدد القضبان في الميكل عن ذلك ، يكون الميكل غير صلب (غير متناكس) ، أما إذا زاد عدد القضبان على ذلك ، كان الجبالون غير مقرر توازنياً .

يتلخّص حساب الجبالون في تعيين ردود أفعال المساند ، وفي إيجاد الإجهادات في قضبانته . يمكن تعيين ردود الأفعال ، وفق نظريات التوازن المعروفة ، وذلك باعتبار الجبالون ككل ، جسماً صلباً .

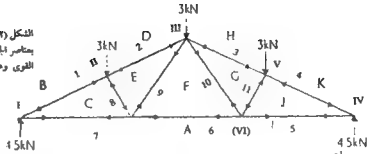
2.80 : إنّ القوى المؤثرة على العناصر ، هي قوى عمودية صرفة ، وبالإمكان إيجادها ، بتحليل القوى المؤثر على كلّ عقدة على حدى ، وبالنتائج . كما يمكننا استخدام أسلوب القطع ، كأسلوب بديل . تتلخّص الطريقة هذه ، في تقسيم الجبالون إلى قسمين ، يقطع بحر بثلاثة قضبان يطلب تعيين الإجهادات فيها (أو في إحداها) ، ثم تتم دراسة اتزان أحد هذين القسمين . أما القسم الآخر ،

فيستبدل تأثيره بالقوى المناظرة ، بتوجيهها على امتداد القضبان المقطوعة من العقد ، أي باعتبار القضبان مشدودة . ثم يتم بعد ذلك ، تكوين معادلات الاتزان ، مع اختيار مركز المزوم (أو محور المساقط) ، بحيث تحتوي كل معادلة ، على إجهاد مجهول واحد فقط .

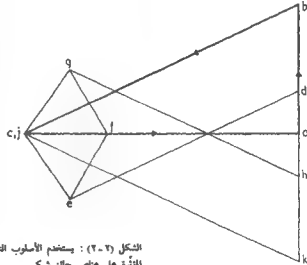
2.81 : يصلح الأسلوب التخطيطي لمعظم الحالات ، ويعدّ من أسهل وأسرع طرق الحساب ، حيث يستخدم مضلع القوى ، لتسهيل عملية تعيين كافّة عناصر القوى المحورية المؤثرة ، على كافّة عناصر الجائر الشبكي . تسمى الطريقة هذه ، بطريقة «بوا» ، وهي الطريقة التي سنحاول بحثها بالتفصيل ، أنظر الشكل (٢-٢) .

2.82 : لإتمام الرسم ، نعيّن أولاً ردود أفعال مساند ارتكاز الجبالون ، على أن تمثل القوى المعلومة المؤثرة على الجبالون ، وردود أفعال المساند ، بخطوط تمر خارج الجبالون ، ولا تخترق حدوده ، أنظر الشكل (٢-٢-أ) . نرسم للمناطق المحصورة بين هذه القوى ، وحدود الجبالون ، وكذلك للمناطق المحصورة بين قضبان الجبالون بالرموز (A,B,C,...,K...) ، أنظر أيضاً الشكل (٢-٢-أ) .

الشكل (٢-٢-أ) : تستخدم الأحرف في تسمية القراءات المحسنة
بعناصر الجانز وقوله المؤثرة عليه خارجياً . وهي تسميات تدل على
القوى وعناصر الجانز .



الشكل (٢-٢-ب) : إن طريقة دواء هي شكل خاص من أشكال
مخططات القوى ، والتي إن رسمت وفق مقياس معين ، مكنت من
قياس القوى المؤثرة داخل عناصر الجانز مباشرة ، [أنظر الفقرات
من (4.04) إلى (4.10)] . إن أسهم الإنجاعات الموسعة حل مثلاً
القوى ، له علاقة بالإنجاعات القائمة في عناصر الجانز المتتالية
في السند الأيسر . تشير الإنجاعات تلك ، إلى قوى الشد أو
الضغط القائمة في عناصر الشبكة ، فتبين أي من هذه العناصر
خاصة للقوى الشد (روابط) وأيها خاضع لقوى الضغط ودهيات
انضغاطية .



الشكل (٢-٢) : يستخدم الأسلوب التخطيطي لتحديد القوى
المؤثرة على عناصر جانز شبكي .

- 2.86 : ترسم بمقياس الرسم المختار ، مضمناً مفقلاً للقوى الخارجية المؤثرة على مسند الجبالون الأيسر ، وللقوى الداخلية في القضيبين المتلاقيين في المسند الأيسر هذا ، أنظر الشكل (٢ - ٢ - ب) . تمثل القوى في المصلع ، بالترتيب الذي نقابله ، إذا مررنا بحدود الجبالون في اتجاه دوران عقارب الساعة ، أنظر الشكل (٢ - ٢ - ب) ، المخطوط السمكة . يرسم رد الفعل عند المسند الأيسر ، على شكل خط شاقولي (ab) ، طوله متناسب مع شدة القوة المساوية (4.5kn) ، واتجاهها باتجاه الأعلى . نستمر بالدوران حول العقدة اليسارية ، باتجاه عقارب الساعة ، ونعبر عناصر القوة العاملة في القضيب (1) . القوة العاملة في القضيب (1) ، هي قوة ضغط ، لذا يرسم الخط الدال عليها نحو الأسفل ، وابتداء من النقطة (b) ، وباتجاه العقدة . يرسم الخط (bc) ، موازياً للقوة ، ومتجهه باتجاه القوة العاملة في القضيب (1) ، على الرض من أن النقطة (c) ، لم يعرف لها مكاناً بعد . نستمر بالدوران حول العقدة اليسارية ، باتجاه عقارب الساعة ، فنصفد الرابط رقم (7) ، والمحدد بالقطاعين (CA) . القوة العاملة في القضيب هذا ، قوة شد ، لذا فهي تتجه بعيداً عن

العقدة اليسارية . يرسم منحنى الطول (ca) . موازياً لاتجاه الرابط ، ابتداء من النقطة (a) . يتلاقى منحنى الاتجاهين (bc) و (ac) في النقطة (c) ، فيتحدد بذلك الطولين (bc) و (ac) ، الممثلين لشدتي القوتين العاملتين في القضيبين (1) و (7) ، على التوالي .

- 2.87 : الوصلة الثانية المراد معرفة القوى المؤثرة على العناصر المتلاقية بها ، هي الوصلة الوسطية ، المعرضة لقوة خارجية مقدارها (3KN) . نعيد الكرة ، مبتدئين من القوة الخارجية هذه . يرمز للقوة هذه ، وفق القطاعين المحصورة ضمنها وهما (BD) ، لذا ترسم ابتداء من (b) على المخطط ، خطاً يوازي اتجاه القوة ، وطوله يمثل شدة القوة المساوية لـ (3KN) ، فتحدد بذلك النقطة (d) ، على المخطط . بالدوران حول العقدة ، باتجاه عقارب الساعة ، نصعد العنصر (2) ، المحدد بالقطاعين (DE) .

نرسم من نقطة (d) ، خطاً موازياً لاتجاه القضيب (2) .
نستمر بالدوران حول العقدة ، باتجاه عقارب الساعة ،
فنصعد العنصر (8) ، المحدّد بالطّاعين (EC) . النقطة
(e) ، نقطة محدّدة على المخطط ، لذا نرسم منها خطاً
موازياً لاتجاه القوّة في العنصر (8) . يتلاقى الخطان (de) و
(ce) ، في النقطة (e) ، وهذا تميّن شدتي القوتين العالمتين
في العنصرين (8,2) ، بقياس المسافة (de) و (ce) على
التوالي .

2.08 : كما لاحظنا ، وباستخدام أضلاع مضلّع
القوى الخارجيّة ، نرسم مضلّعات قوى لكل عقد الجبالون
بالترتيب ، بحيث سدا بالعقدة التي يتلاقى فيها قصبان
فقط ، وعند ذلك يجب أن سدا برسم كل مضلّع بالقوى
المعلومة ، ونمثّل كل القوي بالترتيب الذي تقابله ، فيها إذا
مررنا بالعقدة قيد البحث ، في اتجاه دوران عقرب
الساعة .

نرمز للإجهادات في القضبان ، بنفس الطريقة التي
رمزنا بها للقوى الخارجيّة : فنرمز للإجهاد في القضيب (1)
مثلاً بالرمز (bc) ، وفي القضيب (7) بالرمز (ca)
وهكذا . . .

بالاستمرار بالدوران باتجاه عقارب الساعة ،
نستكمل المرور على كامل العقد ، وبالتالي نستكمل
المخطط الموضّح في الشكل (2-2-ب) .
نلاحظ على المخطط تطابق التقطان (c,j) . كما
نلاحظ أنّ الخطوط (bd-dh-hk) تقعان على منحنى واحد مع
الخطوط (ka-ab) ، وإنّ تماكسا في الاتجاه ، وهذا ما يعبر
عن مناسي واتجاهات القوى الخارجيّة المؤثّرة على الجائز
الشبكي موضوع الدراسة .

2.09 : لإيجاد اتجاه الإجهادات في القضبان ،
وفي القضيب (2) مثلاً من الرسم البياني ، نفصل في غيّلتنا
العقدة (II) ، وبالدوران حولها في اتجاه دوران عقرب
الساعة نقرأ رمز القوّة (de) ، وإيجاد المتجه (de) في الرسم
البياني ، نتيّن بأنّه يتّجه باتجاه العقدة ، فالقضيب
مضغوط .

ولإيجاد اتجاه القوّة في القضيب (10) مثلاً ، نفصل
العقدة (IV) في غيّلتنا . وبالدوران حولها في اتجاه دوران
عقرب الساعة نقرأ رمز القوّة (fg) ، وإيجاد المتجه (fg) في
الرسم البياني ، نتيّن بأنّه يتّجه بعيداً عن العقدة ،
فالقضيب مشدود ، وهكذا . . .

2.10 : قد تصادفنا أثناء رسم المنطقتين ، الحالات الخاصة التالية :

١ - إذا التقطت ثلاثة قضبان في عقدة بقوى خارجية ، وكان اثنان منها على استقامة واحدة ، فإن الإجهاد في القضيب الثالث ، يساوي صفراً .
٢ - إذا وجدت في الجبالون قضبان متقاطعة ، فإنه يمكن رسم الشكل البياني للإجهادات في هذا الجبالون ، بالطريقة الاعتيادية ، وذلك باعتبار نقطة تقاطع القضبان عقدة . وعند ذلك فإن الإجهادات في أجزاء القضيبين المتساوية في المقدار والإشارة ، ستكون ممثلة في الرسم البياني مرتين .

٣ - إذا صادفنا أثناء رسم الشكل البياني ، عقدة يزيد عدد المجاهيل فيها على اثنين ، فإنها يجب محاولة رسم الشكل البياني لطرفي الجبالون بوقت واحد (إذا كان الجبالون غير متماثل) ، أو تعيين الإجهادات في بعض القضبان تحليلياً ، بطريقة المقاطع . وبطريقة المقاطع هذه ، يمكن التأكد من صحة أو دقة الحل البياني ، في أي جزء من الجبالون .

2.11 : يختلف الشكل الحقيقي للجوائز الشبكي ، كثيراً عن ذلك الموضح في النموذج الحسابي . فنحن نلاحظ مثلاً ، أن قوى الضغط المؤثرة في الرافدة (BC) ، المساوية لـ (91KN) ، هي قوة ناشئة عن حمولة السقف . لا تتركز القوة هذه ، عند الوصلة ، بل تتوزع على عدد من النقاط الواقعة على طول الرافدة . لذا كان من الضروري حساب عزوم الانحناء ، الناشئة عن الحمولات هذه ، وإيجاد قيمها . يجري التأكد أخيراً من أن مجموع عزوم الانحناء والإجهادات المحورية ، هي أقل من الحد الأعظمي المسموح به .

2.12 : لذا لا تعد الحسابات الجبرية ، بهدف تحليل النموذج ، الموضح في هذه الفقرة ، هي آخر المطاف ، بل تعد فقط ، إحدى مراحل الحساب الهامة ، والتي ينبغي أن تبينها حسابات تكميلية أخرى .

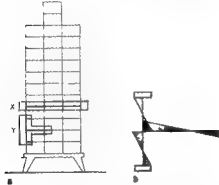
● الأطر الفراغية :

3.01 : لقد اكتسبت الأطر الفراغية شعبيتها ، وانتشرت على نطاق واسع ، بحلول عصر الحاسوب . فلقد كان إلى وقت قريب ، يصعب على الإنشائي ، من خلال وسائله الحسابية التقليدية ، الوصول إلى حل مناسب لمشاكل كافة الأطر الفراغية ، ذات الوصلات الصلدة . فقد كان من الصعب تحديد وتعين القوى المحورية ، قوى القص ، والقوى المسية لعزوم اللي والفنل ، العاملة على عناصر ووصلات العديد من أشكال الأطر الفراغية ، بالوسائل المتاحة آنذاك . ولتسهيل العمل ، كان يجري افتراض الوصلات ، وصلات مسارية ، وذلك بغية الاستفادة من الإجراءات والحسابات الجارية على الأطر المستوية ، في حل مشاكل الأطر الفراغية ، إلا أن هذه الإجراءات كانت تؤدي إلى رفع التكاليف ، إضافة إلى تعرض مستمري البناء إلى أعطال كبيرة ، حال تطبيقها لحل مشاكل أطر ، ذات أبعاد ثلاثة .

3.02 : يقوم بتصميم معظم الأطر الفراغية في أيامنا هذه ، مهندسون مختصون بالحساب الإنشائي ، ومن ذوي الخبرة ، القادرون على استخدام برامج الحاسوب المعقدة .

● أطر الوصلات الصلدة :

4.01 : إن تحليل أبنية ضخمة ، متعددة الطوابق ، تربط بين أجزائها وصلات صلدة ، أنظر الشكل (٣-٢-أ) ، هي أيضاً واحدة من أعمال الحاسوب . إلا أن هناك بعض الإجراءات ، يمكن أن تتخذ بهدف تسهيل وتيسير استخدام طرق الحساب التقليدية ، منها إجراءات تعمل على تقسيم المنشأة ، إلى منشآت أصغر وأبسط .

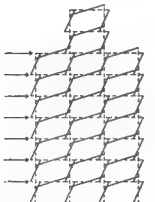


الشكل (٣-٢-أ) : يظهر الشكل نموذجاً لبناء متعدد الطوابق ، ذي وصلات صلدة .

الشكل (٣-٢-ب) : إن تلافي الجسر مع خط الأعمدة ، هو بمثابة المحور الثقلوي (٧) .



الشكل (٣-٢-ج): يظهر الشكل تحليلاً لجسر نموذجي على المحور (X).



الشكل (٣-٢-د): يظهر الشكل الطريقة التجريبية النظرية المستخدمة في تحليل قوى الرياح المبدئية على هيكل المنشأة

4.82 : تحلل لولاً جسور كل طابق من الطوابق ، باعتبارها جسوراً مستمرة ، محمولة على أعمدة الطابق ، مشكلين معاً ، عند نقاط الإتصال ، وصلات مسارية . يمكننا تصميم الجسور هذه ، معتمدين على نتائج التحليل ، الموضح في الشكل (٣-٢-ب) .

4.83 : يمكننا بعدئذ ، تقدير عزوم الإنحناء ، المؤثرة على الأعمدة الخارجية ، معتمدين بذلك على قواعد وصيغ تجريبية . إننا سنحتاج عند تصميم الأعمدة ، إلى المعلومة هذه ، وإلى الحمولات المحورية ، المستخرجة من حمولات نية البناء ، ومن تلك الحمولات المترتبة ، فوق بعضها البعض ، والموضحة في الشكل (٣-٢-ج)

4.84 : يمكننا أخيراً حساب عزوم الرياح المطبقة على الأعمدة ، معتمدين على واحدة من العديد من الحسابات النظرية ، وتلك شبه التجريبية . إن إجراءات التحقق هذه ، تتيح لنا التأكد من أن الزيادة المحتملة في الإجهادات ، الناشئة عن قوى الرياح ، لم تصل إلى حد ينذر بالخطر ، أنظر الشكل (٣-٢-د) .

● الجسور المستمرة :

5.01- : إنّ من أكثر المنشآت غير المقرّرة سكونياً ، احتواء للمشاكل والتعقيدات الحسابية ، هي الجسور المستمرة . الجسور المستمرة نظام هيكلي ، تشارك في تشكيله ، وصلات صلبة وأخرى مبدئية .

5.02- : هناك طرق عديدة لحل مشاكل الجسور المستمرة ، منها نظرية العزوم الثلاثة ، نظرية العمل الرهمي ، خطوط التأثير ، وهكذا هناك أيضاً العديد من الجداول المعيارية ، يمكن من خلالها ، حل مشاكل العديد من الجسور المستمرة ، والتي ترتبط بمجازاتها بنسب متدرجة ، وتخضع إلى ظروف حملية متباينة .

5.03- : يتصحّ حلّ وتحليل الجسور المستمرة ، استخدام طريقة «هاردي كروس» أو ما يسمى بإسلوب توزيع العزم .

5.04- : تعتمد هذه الطريقة ، على افتراض أنّ كافة وصلات مساند الفتحات ، المتواجدة على امتداد الجسور المستمرة ، هي وصلات مقفلة ودقائق تامّة ، بحيث يتحوّل كلّ جواز من مجازات الجسر المستمر ، إلى جسر أفقي مستقل ، موشوق الطرفين ، أنظر الشكل (٤-٢-أ) .



الشكل (٤-٢-أ) : يظهر الشكل القوى المؤثرة على جسر مستمر موشوق الطرفين



الشكل (٤-٢-ب) : يظهر الشكل حالة الجسر إن تحرّرت وصلاته



الشكل (٤-٢-ج) : يظهر الشكل ما تزول إليه المنشأة ، عندما تنامي العزوم الخارجيّة الموازنة إلى الصفر ، أنظر الفقرات من (5.04) إلى (5.07)

• نظرية توزيع العزم :

5.05- : لطبق عزمًا مقداره (M_A) ، على الطرف اليساري من جسر ذي طرفين موثوقين ، وذلك بإدارة الوصلة حول محورها ، بزوايا تساوي (θ) ، أنظر الشكل (5-2-أ) . يتولد عن هذا العزم ، عزمًا مقابلًا على الوتاقة (B) ، المتواجدة على الطرف الأيمن من الجسر ، أنظر مخطط العزم الموضح في الشكل (5-2-ب) .



الشكل (5-2-أ) : يظهر الشكل جسرًا موثوق الطرفين ، مفروضاً لعزم مطبق على طرف الوتاقة اليسرى .



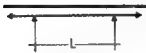

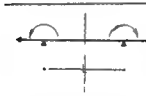

الشكل (5-2-ب) : يظهر الشكل مخطط العزم

5.05- : تحسب بعدئذ عزوم الوتاقت الثابتة ، المتولدة على أطراف كل جاز ، والناتجة عن الحمولات الخارجية ، بمثابة عزم خارجي ، مطبق في العقدة .
5.06- : تحرر بعدئذ إحدى الوصلات المفصلة ، لكي يتاح لها الرجوع إلى حالتها الطبيعية ، ومن ثم يعاد إفعالها ثانية . في كل مرة تحرر فيها الوصلة ، تقوم العزوم السالبة والموجبة فيها ، بإخراج الجسرين الملاصقين للوصلة من طرفها ، عن توازنهما ، أنظر الشكل (5-2-ج) .

5.07- : هناك أيضاً عزوم متبقية عن الوصلة المحررة ، يعاد توزيعها إلى الطرف المقابل ، من طرفي الوصلتين المفصلتين ، المجاور لها من كل طرف . يجري حساب العزوم المتبقية ، وتؤخذ بعين الاعتبار . وفي نهاية المطاف نقول ، أنه في كل مرة ، يتم بها تحرير الوصلة ، فإن التوازن المسبق للوصلة المجاورة يتهار ، ويعاد فرض عزم آخر إليها . لهذا يتألف أسلوب توزيع العزوم ، من تكرار لوضعي إفعال وإحلال وتحرير الوصلات ، إلى أن يتضاءل العزم الباقى عند كل وصلة ، تقريباً من الصفر ، أنظر الشكل (5-2-د) .

اللوحة (١-٧) - تظهر اللوحة قساوت عناصر الجسر

$$\text{القساوة} = \frac{KEI}{L}$$

	<p>الجسر مستمر على كلا الطرفين .</p> <p>عامل القساوة (KE) يساوي (١)</p> <p>العمود المثبت يساوي</p>
	<p>الجسر مستمر من طرف واحد</p> <p>عامل القساوة (KE) يساوي (3)</p> <p>العمود المثبت يساوي صفرًا</p>
	<p>الجسر متماثل حول محور واقع في الوسط .</p> <p>عامل القساوة (KE) يساوي (2)</p> <p>العمود المثبت يساوي صفرًا</p>
	<p>الجسر حولاته مختلفة .</p> <p>عامل القساوة (KE) يساوي (١)</p> <p>العمود المثبت يساوي صفرًا</p>

- 5.01 يدعى المقدار $(\frac{4EI}{L})$ ، صلابة

الجسر . والصلابة تعريفاً ، هي العزم المطلوب لإنجاز

دوران وحدة الطول . يزودنا الجدول (١-٢) ، بقيم

الصلابة العائدة لبعض الجسور ، وهي خاصة لظروف

تحميل خاصة .

-5.11 : لقد أثبتنا أن :

$$M_A = -\frac{1}{2}M_B$$

هذا يعني أن العزم المستحث يساوي بقيمته نصف

العزم المطبق . تشير الإشارة السالبة هذه ، إلى أن عزم

التقوس المطبق ، يسبب عزم ارتخاء مستحث ، أنظر

الشكل (٧-٢) . لا يوجد اصطلاح متعارف عليه

لتحديد الإشارة ، وسرى فيما بعد ، أن العزم المستحث

والتقوس ، يمكن أن يشابه بإشارته العزم المطبق .

لقد أشرنا في الفقرة (1.18) ، من الفصل الأول ،

أن مساحة المخطط $(\frac{M}{EI})$ ، يساوي التغير

الحاصل في ميل الجسر ، أي أن :

$$\theta = \frac{\frac{1}{2}(M_A + M_B) \times L}{EI}$$

-5.09 كما أشرنا أيضاً ، وفي الفقرة (1.19) ، من الفصل

الأول ، أن المسافة الشاقولية للنقطة (A) ، الواقعة أسفل

المماس المار من النقطة (B) ، يساوي العزم الأول لمساحة

المخطط $(\frac{M}{EI})$ ، حول (A) . أي :

$$\theta = \frac{(M_A + 2M_B) \times L^2}{8EI}$$

إذاً :

$$M_B = -\frac{1}{2} M_A$$

نعوض في المعادلة الأولى ، فنجد أن :

$$\theta = M_A \times \frac{L}{4EI}$$

أو :

$$M_A = \frac{4EI}{L} \times \theta$$

* حساب الجسر المستمر :

5.12- إن تشكيلة الجسر المستمر ، مراهاموضحة

في الشكل (٦-٢)

5.13- : يمكننا حساب نسب الصلابة ، لكل دوح

من المعازات ، على النحو التالي :

$$\frac{KEI}{L}$$

إن الكمية (E) في المثال هذا ، هي كمية ثالثة ، على كامل المعازات . لذا يمكننا إجمالها ، لكونها قيمة تحتزل عند استخراج النسب .

5.14- : يمكننا حساب قسوة معازات الجسر ، من

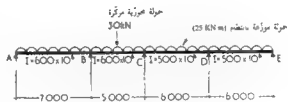
حلال تنبع الحسابات النهائية ، المتواجدة على القسم الأيمن

من الجدول (٢-٧) ، بحيث تكون :

اللوحة (٢-٧) : تظهر اللوحة نسب قسوة عناصر الجسر المستمر

الموضح في الشكل (٦-٢)

رمز المجاز	k	f	L	قسوة كل منها 10 ³ × E ×	B	C	D
AB	3	800 × 10 ³	7000	258	0.38		
BC	4	800 × 10 ³	8000	480	0.83	0.59	
CD	4	800 × 10 ³	8000	333		0.41	0.57
DE	3	800 × 10 ³	8000	250			0.43



جسر من معاد واحدة ، لذا فإن عامل المرونة (E) ثابت على كامل القطع

الشكل (٦-٢-أ) : يظهر الشكل الحمولة المطبقة على الجسر ،

موضوع المثال الموضح في الفقرات من (5.12) إلى (5.28) .

صلابة المجاز (AB) = 256

صلابة المجاز (BC) = 480

لذلك تكون نسبة صلابة (AB) =

$$\frac{256}{256+480} = 0,35$$

وتكون نسبة صلابة (BC) =

$$\frac{480}{256+480} = 0,65$$

لاحظ أن مجموع نسبي الصلابة ، على طرفي المقدة

يساوي (١) .

S.18- : بعدئذ نحسب عزوم الطرف الموثوق لكل

مجاز ، بعد الافتراض أن الوثاقة وثاقة تامة عند المساند
نفترض أن المسدين الطرفين ، هما مستدلين مسباريين ،
عند حساب العزوم موثوقة الطرف ، وأيضا كما في
الأصل ، عند حساب صلابة المجاز .

يحسب العزم عند (B) ، للمجاز (AB) من العلاقة

التالية :

$$M_F = \frac{WL^2}{8} = \frac{25 \times (7)^2}{8} = 193 \text{ KN.m.}$$

يحسب العزم عند (B) ، للمجاز (BC) ، حيث

الحمولة موزعة بانتظام ، من العلاقة التالية :

$$M_F = \frac{Wl^2}{12} = \frac{25 \times (5)^2}{12} = 52 \text{ KN.m.}$$

وللحمولة المركزة :

$$M_F = \frac{PL}{8} = \frac{30 \times 5}{8} = 19 \text{ KN m}$$

فيكون مجموع العزم عند (B) ، للمجاز (BC) هو :

$$52 + 19 = 71 \text{ KN.m.}$$

يساوي العزم عند (C) ، للمجاز (BC) ، قيمة

العزم عند (B) ، للمجاز عند (B) للتناظر

$$\text{أي } (71 \text{ KN.m})$$

يحسب العزم عند (C) و (D) ، للمجاز (CD) ،

حيث الحمولة موزعة بانتظام ، من العلاقة :

$$M_F = \frac{Wl^2}{12} = \frac{25 \times (6)^2}{12} = 75 \text{ KN.m.}$$

يحسب العزم عند (D) ، للمجاز (DE) ، حيث

الحمولة موزعة بانتظام ، من العلاقة :

$$M_F = \frac{Wl^2}{8} = \frac{25 \times (6)^2}{8} = 112 \text{ KN.m.}$$

* إصطلاح الإشارة :

5.16- : عند وضع قيمة عزوم المساند ، ضمن لوحة توزيع العزوم ، ينبغي وضع الإشارة الصحيحة لكل عزم متواجد على طرف موثوق . ويتم ذلك بتأمل العزم الفاعل على نهاية المجاز . إذا كان العزم يحرك المجاز باتجاه عقارب الساعة ، فهي عزوم موجبة ، وإذا كانت العزوم مخالفة لاتجاه عقارب الساعة ، كانت العزوم سالبة ، أنظر الشكل (٦-٢-ب) .

5.17- : الآن ، وبعد وضع الإشارات الصحيحة ، لتأمل التوزيع الأول ، في مثالنا ، والمجرى عند الوصلة (B) . إن فرق العزم عند طرفي الوصلة (B) يساوي :

$$+153 - 71 = +82 \text{ KNm.}$$


الشكل (٦-٢-ب) : اصطلاح الإشارة الفع أثناء توزيع العزوم

اللوحة (٢-٣) : جدول توزيع العزوم .

A	B	C	D	E
0 36	0 55	0 59	0 41	0 57
+193	- 71	+71	-75	+75
- 29	- 53	+ 2	+ 2	+21
	+ 1	-28	+10	+ 1
	- 1	+ 9	+ 7	- 1
	+ 4			+ 3
- 1	- 3			- 2
				- 1
+123	-123	+ 96	- 96	+ 97

إن العزم الموجب هذا ، سيؤدي إلى تحطيم توازن المقعدة ، ما لم يوازن بعزم معطى ، يعاكسه في الإشارة ، ويساويه في القيمة ، يتوزع القضيبتين المتلاقيين في (B) ، كلاً حسب نسب قساوته أي :

سيكون نصيب القضيب (BA) من العزم هو :

$$0.35 \times (-82) = -29$$

سيتركز هذا العزم على الوصلة (B) ، للاتجاه (BA) .

وسيكون نصيب القضيب (BC) من العزم هو :

$$0.65 \times (-82) = -53$$

5.18- : بعد توزيع العزم الفائض هذا ، حل كلا طرفي الوصلة ، نضع خطأ تحتها . عندما تتوازن كافة

• عزوم انعطاف المجاز الحر :

5-28 : قبل رسم مخطط عزم الإنعطاف ، لابد لنا من حساب عزوم انعطاف المجاز الحر :
عند (AB)

$$M_2 = \frac{Wl^2}{8} = 153 \text{ KNm}$$

في (BC) والناتجة عن الحمولة الموزعة :

$$M_1 = \frac{Wl^2}{8} = \frac{25 \times (5)^2}{8} = 78 \text{ KNm}$$

وفي (BC)

والناتجة عن الحمولة المركزة :

$$M_3 = \frac{Pl}{4} = \frac{30 \times 5}{4} = 38 \text{ KNm}$$

وبذا يكون مجموع العزم في (BC).

$$78 + 38 = 116 \text{ KNm}$$

في القطعتين (CD) ، (DE)

$$M_2 = \frac{Wl^2}{8} = 112 \text{ KNm}$$

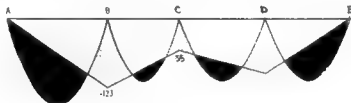
الوصلات ، نطبق العزوم المتقولة ، كما هو واضح من خلال الأسهم في الجدول (٣-٢) . إنَّ العزم المتقول إلى الوصلة المجاورة ، يساوي نصف العزم الموازن المطبق .
5-19 : عندما يصل العزم الموازن المطبق ، المراد تمييز نصفه إلى الوصلة المجاورة ، إلى قيمة منخفضة جداً ، في كافة وصلات الجسر المستمر ، نرسم خطأ طويلاً ، ونجمع قيم العزوم في كل عمود . ينبغي أن تتساوى قيم العزوم عند طرفي كل وصلة ، كما ينبغي عليها أن يتخالفا في الإشارة .
نلخص الخطوات فنذكر :

- ١ - نحسب عزم الوثاقة الثلثة ، الناجم عن الحمولات الخارجيّة لكل عنصر من عناصر الميكل .
- ٢ - نحرّر كل عقدة على حدى ، مع بقاء بقيّة العقد موثوقة . ولدى تحرير العقدة ، نوزّع العزم الفائض فيها ، على العناصر الملتصقة فيها ، بموجب عوامل النقل .
- ٣ - نكرّر العمل عدّة مرات ، عقدة فقطة ، إلى أن يصبح العزم الفائض صغيراً مهملاً .
- ٤ - نجمع ما حصلنا عليه جمعاً جبرياً ، فنحصل على العزوم في نهايات العناصر .

• مخطط عزم الإنعطاف :

5.21 : لرسم مخطط عزم الإنعطاف ، أنظر الشكل (٢-٧) ، تُنصَّح اصطلاح إشارة عزم الإنعطاف الإعتيادية ، والتي تفترض أن عزوم الإرتقاء ، هي عزوم

موجبة ، والعزوم الداعية إلى التَّقْوُسَ عزوماً سالبة ، أنظر الشكل (٢-٨) . وفي الواقع نرى أنَّ معظم عزوم أواسط المجازات ، هي عزوم موجبة ، وأنَّ عزوم المساند هي عزوم سالبة .



الشكل (٢-٧) : يظهر الشكل مخطط عزم الجسر الموضَّح في الشكل (٢-٦)



الشكل (٢-٨) : يوضَّح الشكل اصطلاح الإشارة المتعارف عليه في رسومات مخططات عزوم الإنعطاف . حيث يرسم العزم السالب فوق الخط الدال على منحنى الجسر ، والعزم الموجب يرسم أسفل الخط الدال على منحنى الجسر .

* حساب قوى القص وردود الأفعال :

S.22- : لنحسب قوى القص وردود الأفعال ، متأمليين للجناز (AB) ، وآخذين المزموم حول (B) ، أنظر الشكل (٩-٧) .

$$R_A \times L = W \times L \times \frac{1}{2} L - M_B$$

$$R_A = \frac{1}{2} WL - \frac{M_B}{L}$$

$$= 25 \times 7 \times 0,5 - \frac{123}{7}$$

$$= 88 - 18 = 70 \text{ KN}$$

إذاً :

S.23- : بشكل مشابه نأخذ المزموم حول (A) :

$$S_{BA} = \frac{1}{2} Wl + \frac{M_B}{l}$$

$$= 25 \times 7 \times 0,5 + \frac{123}{7}$$

$$= 88 + 18 = 106 \text{ KN}$$

وللمجناز (BC) ، نأخذ المزموم حول (C) :

$$S_{BC} = \frac{1}{2} WL + \frac{1}{2} P + \frac{M_B - M_C}{L}$$

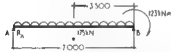
$$= 25 \times 5 \times 0,5 + 30 \times 0,5 + \frac{123 - 56}{5}$$

$$= 62 + 15 + 13$$

$$= 90 \text{ KN}$$

$$R_B = S_{BA} + S_{BC} = 106 + 90 = 196 \text{ KN.}$$

بتلك الطريقة ، يمكننا إيجاد كافة قوى القص وردود الأفعال ، المؤثرة على الجسر .

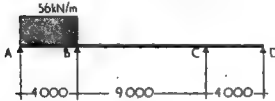


الشكل (٩-٧) : يظهر الشكل طريقة حساب قوى القص وردود الأفعال المؤثرة على المجناز (AB) .

• الأسلوب المستخدم لترتيب الجسور ترتيباً متناظراً :

5.24 : في معظم الحالات ، تكون المنشأة متباعدة ، إلا أن الحمولات المطبقة عليها ، ليست كذلك . يمد الشكل (٢-١٠) ، مثلاً نموذجياً للحالة هذه .

الشكل (٢-١٠) : يظهر الشكل جسراً متناظراً بحمولات متباعدة



الشكل (٢-١١ أ) : يظهر الشكل جسراً متناظراً وحملاته متباعدة



الشكل (٢-١١ ب) : يظهر الشكل جسراً متناظراً متخالف الحمولة



الشكل (٢-١١) : طريقة إعطاء ترتيب حمولات الجسور المستمرة

5.25 : أي جلة من الحمولات ، يمكن تحويلها إلى مجموعتين ، إحداها متباعدة ، والأخرى متباعدة . يدعى الترتيب هذا ، انشطار الحمولات ، ونراه موضعاً في الشكل (٢-١١) .

5.26 - : لتعيب عزم الطرف الموثوق

عند (B) ، وفي المجاز (AB) نجد أن :

$$M_f = \frac{W l^2}{8} = \frac{28(4)^2}{8} = 56 \text{ KNm}$$

اللوحة (4-2) : تظهر اللوحة قسوة المجازات في حالة الجسر المتخالف .

النسب	القسوة	b	B	I	L	رمز المجاز
0.77	0.76	3	—	—	4	AB & CD
0.23	0.22	2	—	—	3	BC

A	B	C
0.77	0.23	
+56		
-43	-13	
+13	-13	

اللوحة (5-2) : تظهر اللوحة قسوة المجازات في حالة الجسر المتخالف

النسب	القسوة	b	B	I	L	رمز المجاز
0.53	0.76	3	—	—	4	AB & CD
0.47	0.22	2	—	—	3	BC

A	B	C
0.53	0.47	
+56		
-30	-26	
+26	-26	

5.28 - : نعود إلى اصطلاح الإشارة الاعتيادية ،

ونؤخذ حالات الحمولة ، لإعطاء الشكل النهائي للتحميل :

$$M_B = (-13) + (-26) = -39 \text{ KNm}$$

$$M_C = (-13) + (+26) = +13 \text{ KNm}$$

5.27 - : عزم الطرف الموثوق ، كما هو في السابق

يساري (56 KNm) .

● الأطر الحاملة :

- 6.01 : يمكن أن تعدّ الحسور المستمرة ، واحدة من المنشآت ذات البعد الواحد ، على الرغم من أنّ الحمولات ورمود الأفعال عليها ، تقع في البعد الثاني .
ترداد تعقيدات المنشأة ، فور تحوّلها إلى منشأة ذات بعدين ، كما في الإطارات الحاملة . هناك أساليب متنوعة لمعالجة الأطر الميكانيكية ذات البعدين ، وذات الأبعاد الثلاثة منها :

- ١ - توزيع العزم (كما رأينا في الفقرة السابقة) .
 - ٢ - حل الأطر بطريقة القوى الواحدة أو معايل التأثير .
 - ٣ - طريقة التشوهات أو طريقة الميل والسهم .
 - ٤ - جداول كلينلوغيز .
 - ٥ - برامج الحاسوب الجاهزة .
- إنّ الأسلوبين الأخيرين ، ليسا من أساليب التحليل الدقيقة ، بل إنّها حيلة أساليب أخرى ، ويمكن لنا استخدامها ، لحل عدد من المشاكل المحدودة .

- 6.02 : يمكننا الاستفادة من جداول الحساب

الجاهزة ، التي تخفّل بها كتب تخصّصت بحساب الحسور المستمرة ، البوابات المتضيرة ، والأطر متعدّدة الفتحات ، إلّا أنّ ذلك سيكون مدعاة لعمل كثير ، لذا أخذ المهندسون مؤخراً ، يتوجهون نحو استخدام برامج الحاسوب الجاهزة . يمكن أن نجد الحسابات والأجهزة هذه ، في مكاتب متخصصة ، يلجأ إليها المهندسون عند الحاجة . إلّا أنّ أغلب مهتمّي الإنشاء ، يرغبون بمكاتبهم مباشرة ، بالمكاتب المتخصصة هذه ، بغية توفير الوقت والجهد معاً ، حيث يتلقون مباشرة ، ما يريدونه من معلومات ، ومن خلال أجهزتهم الخاصة . إنّ لم يتوفّر واحد من الأسلوبين هذين ، فلا بأس من استخدام واحد من الأساليب الثلاثة الأولى .

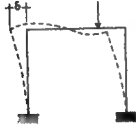
- 6.03 : يعتمد أسلوب توزيع العزم على التكرار ، وفي بعض الحالات ، قد تتكرر العملية ، ليصبح تكرارها عملاً ، وفي حالات أخرى ، يسقط الأسلوب ويمحى عن الوصول إلى الحل المتوازن . يحتاج لإنجاز التحليل ، توزيعاً منفصلاً ، لكل نموذج من الحمولات المضافة تقريباً ، لا تربط بينها معادلات وحسابات آنية . في حال الحاجة إلى حسابات دقيقة ، يستعصى علينا أحياناً الفراغات المتروكة ، والمخصصة لاستيعاب أكثر من رقم يل الفاصلة .

- 6.04 : يعد أسلوب مُعايَل التأثير ، أسلوباً أكثر قوة ، ويمكن استخدامها بشكل فعال ، لحل مشاكل أي منشأة هيكلية من ذوات البعدين ، أو الأبعاد الثلاثة . هذا ، وما إن اكتشفت المصفوفات المرنّة ومعكوساتها ، حتى أصبح من السهل على المصممين ، إيجاد حساب العديد من حالات الحمولات ، دون تعقيدات تذكر . على أي حال ، ليس من الممكن دوماً ، عكس المصفوفة يدوياً ، إذ تعتمد الكثير من النتائج عادة ، على فروقات بسيطة ، تختلف بها كميات ضخمة ، مما يدهو إلى

استخدام أعداد كثيرة بعد الفاصلة ، توجيهاً للوصول إلى درجة الدقة المطلوبة ، قد يضيق بها حيز الجداول اليدوية .

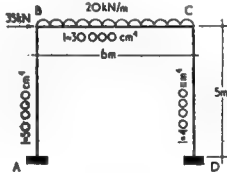
- 6.05 : نظرية الميرل والنشوء ، هي نظرية صالحة لحل مشاكل المنشآت البسيطة ، إلا أنها تقود غالباً إلى معادلات متوافقة وأنية ، كما هو الحال في أسلوب القوى الواحدية ، المعتمد على مبدأ العمل الوهمي .

ليس بمثلث . هذا ، وسواء أكان الإطار ، إطاراً غير متناهي ، أو كانت الحمولة المطبقة على الإطار ، حمولة غير متناظرة ، فلا بد للإطار من أن يتناهي وترنح ، أنظر الشكل (١٣-٢) . مع العلم أن اتجاهات الترنح والتناهي ، ليست دوماً واضحة . هذا ، ولابد من تأمل ترنح الإطار ، ومعرفة اتجاهاته ، خصوصاً إن كان يراد تطبيق أسلوب توزيع العزم .



الشكل (١٣-٢) : يظهر الشكل اتجاه وشكل ترنح إطار حامل متناهي الحمولة .

٤.٤٤ - : لعرض طريقة تحليل منشأة إطارية غير مقررة سكونياً ، وإعطاء فكرة عن ما يفترض أساليب الحل ، من مشاكل وتعقيدات ، وأينا طرح مثال لإطار حامل ، طرفاه السفليان ، مثبتان على شكل وثاقة ، أنظر الشكل (١٢-٢) . سيجري حل الإطار بطريقتين ، الأولى وتعتمد أسلوب توزيع العزم ، والثانية وتعتمد طريقة القوى الواحدة . نعدنا أن يكون المثال هذا ، لإطار

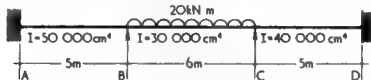


الشكل (١٢-٢) : يظهر الشكل مثلاً لإطار حامل ، جرى تحليله وفق طريقتي توزيع العزم والقوى الواحدة .

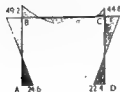
● أسلوب توزيع المزم:

6.97 : يحول الإطار أولاً ، إلى جسر مستمر ، أنظر الشكل (٧-١٤) . تعيين بعدئذ صلابة كل ذراع من أذرع الإطار ، أنظر الفقرة (5.14) ، وتعين عزوم التثبيت على طرفي الذراع (BC) ، أنظر الفقرة (5.16) .

6.98 : تستخدم نتائج الحسابات ، المسجلة على اللوحة (٧-٦) ، في رسم مخطط المزم ، أنظر الشكل (٧-١٥) . نفترض أن التقاطعين (B) و (C) ، نقطتان ثابتتان في مكانهما ، ولكي تثبتان ، لابد من قوة أفقية تساوي (Hn) . نقسم بعدئذ الإطار ، وفق عناصره المكونة ، أنظر الشكل (٧-١٦) .



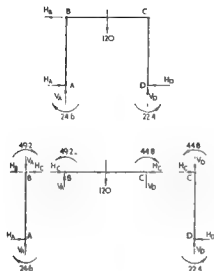
الشكل (٧-١٤) : يحول الإطار إلى جسر مستمر .



الشكل (٧-١٥) : يظهر الشكل مخطط عزم الإطار الكامل

اللوحة (٧-٦) : جدول توزيع المزم .

A	B	C	D
0.47	0.23	0.28	0.02
	-80	+80	
+20	+40	-22.2	-37.2
	-11.4	+10	
+2.8	+7.6	-3.8	-0.2
	-1.9	+1.9	
+0.8	+1.3	-0.7	-1.2
	-0.4	+0.3	
+0.2	+0.3	-0.1	-0.2
	-0.1	+0.1	
+24.8	+48.2	+44.8	-22.4



الشكل (١٦-٢) : يتم خبط عزم الإنعطاف إلى عناصره المكونة

لحساب القوى المؤثرة على القطعة (BC) ، نأخذ
المزوم حول (C) :

$$V_A \times 6 = 120 \times 3 + 49.2 - 44.8$$

إذاً :

$$V_A = 60.73 \text{ KN}$$

و .

$$V_D = 120 - 60.73 = 59.27 \text{ KN}$$

ولحساب القوى المؤثرة على القطعة (CD) ، نأخذ
المزوم حول (D) :

$$H_C \times 5 = 44.8 + 22.4$$

$$H_C = 13.45 \text{ KN} = H_D$$

ولحساب القوى المؤثرة على القطعة (AB) ، نأخذ
المزوم حول (A) :

$$(H_B + H_C) \times 5 = 49.2 + 24.6$$

إذاً :

$$H_B = 1.31 \text{ KN.}$$

و :

$$H_A = 14.76 \text{ KN}$$

$$M_A = -M_B$$

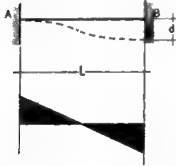
ومن النظرية الثانية المدونة في الفقرة (19) ، من

الفصل الأول نكتب :

$$EI\delta = \frac{1}{2} L \times (M_A + M_B) \times \frac{2}{3} L$$

$$- M_B \times L \times \frac{1}{2} L = \frac{M_A L^2}{6}$$

$$M_A = M_B = \frac{6 EI}{L^2} \delta . \quad \text{إذا :}$$



الشكل (١٧-٢) : يوضح الشكل شكل عزم انحناء عنصر موثوق الطرفين .

٦.٩٩ : لكي نحافظ النقطة (B) ، على موضعها

الأصلي ، لابد من تطبيق قوة أفقية مقدارها (1.31 KN) ، تنبجها نحو اليسار . وبما أن النقطة هذه ، معرضة لقوة مركزة مقدارها (35 KN) ، تنبجها نحو اليمين ، فإن حسيلة القوتين ، هي قوة أفقية ، شدتها تساوي (33.69 KN) ، وتنبجها نحو اليمين . إذا أزيلت كافة الحمولات الأخرى ، المؤثرة على الإطار ، وتحركت النقطتان (B) و (C) ، فإن الإطار سيتنحى باتجاه اليمين ، شغلاً مسافة تساوي (d) ، تبعد بها النقطة (B) ، عن موضعها الأصلي .

إن صلابة الوصلتين (A) و (B) ، تحول دون دوران النقطتين هاتين ، وإن كانا قد تحررا من قيدهما الذي يشدهما إلى موضعهما الطبيعي على الإطار .

٦.١٥ : إن طرفي المنصر (AB) ، طرفان مثبتان ،

على شكل وثاقتين ثابتتين ، أنظر الشكل (١٧-٢) .

تنحرف النقطة (B) ، مسافة شاقولية تساوي (d) . تنص

النظرية الأولى ، المدونة في الفقرة (1.18) من الفصل

الأول ، على أن مساحة المخطط $\left(\frac{M}{EI} \right)$ يساوي

الصفر ، لذا فإن :

* أسلوب مُعَامِلُ التأثير أو طريقة القوى الواحدية :

6.15- : ينتج الأسلوب هذا ، سلسلة من المعادلات
الآتية ، الصالحة لحل أيّ إطار . يحلّ البسيط من هذه
المعادلات بالطرق اليدوية ، بينما يحل معظمها بواسطة
الحاسوب .
يعتمد الأسلوب هذا ، على نظرية ستبها كما هي ،
دون برهان .

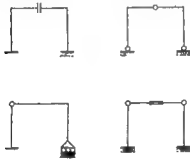
6.16- : إنّ المعادلة النازمة للأسلوب هذا هي :

$$X = - G^{-1} \times U$$

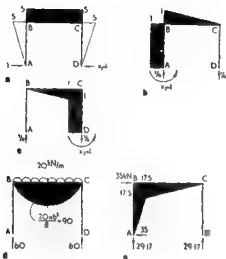
إنّ الأحرف (U, G, X) ، هي ليست دلالة على
أعداد مفردة ، بل تشير إلى منظومة من الأعداد تدعى
المصفوفات . سنعرض في الفصل الثالث ، فكرة موجزة
لنظرية المصفوفات .

6.17- : (X) هي مصفوفة عمود أو مصفوفة الكميات
الموجّهة ، الممثّلة لنوعية التثبيت ، (G) هي المصفوفة المرنّة
للمنشأة ، و (U) هي الحل الخاص للمحمولة المطبقة
المعطاة .

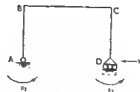
6.18- : إن الإطارات الحامل الموضّح في الشكل
(١٢-٢) ، هو إطار غير مَقَرّر توازنيّاً ، ومن الدرجة
الثالثة ، لكونه يحوي على ثلاثة قيود زائدة . العمل الأول
الواجب إحرازه ، هو جعل الإطار مَقَرّر توازنيّاً ، بإزالة
قيوده الثلاثة . إنّ الأساليب المتبعة لإنجاز ذلك ، نراها
موضّحة في الشكل (١٩-٢) . سنستخدم مثلاً هذا ،
الطريقة الموضّحة في الشكل (٢٠-٢) . تدعى المنشأة
الناتجة عن تطبيق الأساليب هذه ، المنشأة المحرّرة .



الشكل (١٩-٢) : يظهر الشكل أشكالاً مختلفة من المنشآت
المحرّرة ، الإصطلاحات التخطيطية للتشكيلات هذه ، نراها
موضّحة في اللوحة (٧-٢) .



- الشكل (٢-٢١) : يظهر الشكل خطوط حزم الإنعطاف .
 الشكل (٢-٢١) : لطريقة التثبيت الأولى : ($x_1=1$) .
 الشكل (٢-٢١) : لطريقة التثبيت الثانية : ($x_2=1$) .
 الشكل (٢-٢١) : لطريقة التثبيت الثالثة : ($x_3=1$) .
 الشكل (٢-٢١) : يظهر الشكل تأثيرات الحمولات الموزعة بانتظام .
 الشكل (٢-٢١) : يظهر الشكل الحزم المتولدة عن القوة الأفقية .



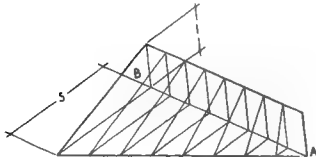
الشكل (٢-٢٠) : تشكيلة المنشأة الحرة ، ونوعية عناصر التثبيت المختارة ، المستخدمة في مثالنا هذا .

6.19 : ملاحظ في الشكل (٢-٢٠) ، كيف حلت المفصلة محل الوتاقة في النقطة (A) ، والمسد المتدرج بدل الوتاقة في النقطة (D) . استعص عن الوتاقات ، معزوم مطبقة على النقطتين (A) و (D) ، ويرد فعل أفقي عند النقطة (D) . يشار إلى المجاهيل الثلاثة بالأحرف (x_1, x_2, x_3) على التوالي ، أنظر الشكل (٢-٢٠) . الإطار الآن هو إطار مقرر توازياً ، لذا فإننا سنعمل على رسم مخططات الحزم الخاص به ، من أجل ($x_1=1$) ، ($x_2=1$) ، و ($x_3=1$) ، ومن خلال معرفتنا للحمولات المطبقة على الإطار ، أنظر الشكل (٢-٢١) . ترسم المخططات دوماً ، للجهة المثلة لجهة شد العنصر .











6.20 : يجمع بعدئذ كل زوج من المخططات معاً ، بغية الحصول على عوامل التأثير ، لتأخذ مكانها في حقل مصفوفة المرونة . لإنجاز التجميع ، تتحمل المنصر (AB) ، كما هو موضح في الشكلين (٢-٢١-أ) و(٢-٢١-ب) . إذ تحسب مقادير الصلابة الممتدة أفقياً ، أنظر الشكل (٢-٢١-أ) ، وتلك الممتدة

شاقولياً ، أنظر الشكل (٢-٢١-ب) ، وتقسّم النتيجة على المقدار (EI) الخاص بالمنصر ، فتكون النتيجة هي تجميع لما يتأهب المنصر (AB) ، تحت تأثير القيدتين معاً ، أنظر الشكل (٢-٢٢) . إذا كانت العزوم واقعة مع المنصر في اتجاه واحد ، كانت العزوم المجمعة معاً عزوماً موجبة ، وعلى الجوانب المقابلة سالبة .





الشكل (٢-٢٢) : يظهر الشكل خطاً تداخل هطلي العزم المؤثرين على المنصر (AB) .



بعضنا الجدول (٨-٣) ، قائمة بالقيم التي غالباً ما نستخدمها عملياً ، أثناء ممارسة الحل ، وهي قيم تساعدنا كثيراً في تبسيط الحسابات .

A	B	A+B
		$\frac{1}{2} \pi r^2$
		$\frac{1}{2} m n$
		$m n$
		$\frac{1}{2} m n$
		$\frac{1}{2} m n$

اللوحة (٨-٣) : بعضنا الجدول قياً جديدة ، هي قيم لجميع مخططات حزمين ممأ .
إن الأشكال التي تم تناولها هنا ، هي من أكثر المخططات ، التي يمكن مصادفتها أثناء تحليل المنشآت أو الأطر الخاملة .

A	B	A+B
		$\frac{1}{2} h (m_1 + m_2)$
		$\frac{1}{2} h (m_1 + m_2)$

٦.٢١ : لتأمل الوثاقتين (١) و(٢) ، أنظر الشكلين
(٢١-٢) و(٢١-٢ ب) :
$$B_{12} = \frac{\frac{1}{2} \times 5 \times 1 \times 5}{E \times 5} + \frac{\frac{1}{2} \times 5 \times 1 \times 6}{E \times 3}$$

$$= + 7.5$$

إذا كانت قيمة (B) ، ثابتة في الحدين ، يمكننا إغفالها عند إجراء الحساب .
للحصول على قطر المصفوفة الأساسي ، نجمع كل مخططات إلى نفسه . يمكننا لإنجاز الحساب ، حساب القيم على جانب قطري واحد ، كما هو واضح : $B_{21} = B_{12}$.

6.22- : إن مصفوفة المرونة الناتجة عن التجميعات كافة هي :

$$G = \begin{matrix} & \begin{matrix} g_{11} & g_{12} & g_{13} \end{matrix} \\ \begin{matrix} g_{21} \\ g_{22} \\ g_{23} \end{matrix} & \begin{matrix} 68.75 & 7.5 & -8.125 \\ 7.5 & 1.67 & -0.33 \\ -8.125 & -0.33 & 1.92 \end{matrix} \end{matrix}$$

6.23- : إن المصفوفة الآن جاهزة للقلب . إن مصفوفة كهذه ، يمكن حلّها يدوياً ، إلا أنّ الحاسوب المكنني ، يجعل حلّها أسر .
إن المصفوفة العكسيّة هي :

$$G^{-1} = \begin{matrix} & \begin{matrix} 0.089 & -0.336 & 0.318 \end{matrix} \\ \begin{matrix} -0.336 & 1.889 & -1.095 \\ 0.318 & -1.095 & 1.677 \end{matrix} \end{matrix}$$

6.24- : عند هذه المرحلة ، وليس قبلها ، ينبغي مراعاة الحمولة المطبقة على الإطار . يتم الحساب لاستخراج معطيات عمود المصفوفة المراد تسجيل الحل الخاص عليه ، بتجميع مخططات المزم الخاصة بمنشأة محررة تنتج عزومها عن حمولات مطبقة ؛ إلى مخططات

منشأة موثوقة الأطراف ، المستخدمة في إيجاد مصفوفة المرونة .

6.25- : على سبيل المثال ، يجمع المخطط (٢١-٢-٥) ، إلى مجموع المخططين (٢١-٢-٦) و (٢١-٢-٧) :

$$U1 = \frac{\frac{1}{2} \times 5 \times 175 \times 5}{5} \text{ (العنصر AB)}$$

$$- \frac{\frac{3}{2} \times 5 \times 90 \times 6}{3} - \frac{\frac{1}{2} \times 5 \times 175 \times 6}{3} \text{ (العنصر BC)}$$

$$+ 0 \text{ (العنصر CD)} = -1767$$

6.26- ما إن يحسب عمود الحل الخاص ، حتى تصبح المعادلة جاهزة لكتابتها على الشكل التالي :

$$X_1 = 0.089 - 0.336 \quad 0.318 \times 1767$$

$$X_2 = - 0.336 \quad 1.889 - 1.095 \quad 264$$

$$X_3 = 0.318 - 1.095 \quad 1.677 \quad 118$$

تقلب إشارات عمود الحل الخاص ، لكي تتطابق مع الإشارة السالبة للمعادلة الناعمة ، المتواجدة في الفقرة (6.16) .
نوجد أمامنا الآن مصفوفة بسيطة ، تساعد في حساب قيم الوثائق . فعل سبيل المثال :

$$X_3 = 0.318 \times 1767 - 1.095 \times 264 - 1.677 \times 118 = 75$$

وبشكل مشابه نجد أن : $X_1 = 31 \quad X_2 = 34$

6.27- يمكن استخدام القيم هذه ، لإيجاد قيم العزوم عند أي نقطة ، مستعينين بالشكل (٧-٢١) . على سبيل المثال ، لإيجاد «مالة» نكتب : الموزعة (الوثيقة ٤٢)

$$M_B = 31 \times 5 + 34 \times 1 + 75 \times 0 + 0 - 175 = 14 \text{ KNm.}$$

الأنفة (الوثيقة ٤٣) (الوثيقة ٤١)

6.28- بشكل مشابه نحسب رد الفعل الشاقولي عند

(D)

$$V_D = 31 \times 0 (الوثيقة ٤١) - 34 \times \frac{1}{6} (الوثيقة ٤٢)$$

$$- 75 \times \frac{1}{6} (الوثيقة ٤٣) + 60 (الحمولة الأنفة)$$

$$+ 29.17 = 71 \text{ KN (الحمولة الموزعة)}$$

6.29- إن المقادير الناتجة عن الحسابات المجرة وفق الأسلوب هذا ، نراها موضحة في الجدول (٩-٢) ، حيث نستطيع مقارنة النتائج هذه ، مع القيم التي أمكن الحصول عليها ، بتطبيق أسلوب توزيع العزم . يملينا العمود الأخير ، النتائج التي يمكن الحصول عليها ، باستخدام برامج الحاسوب
اللوحة (٧-٧) : الدلالات التخطيطية للعناصر المحررة .

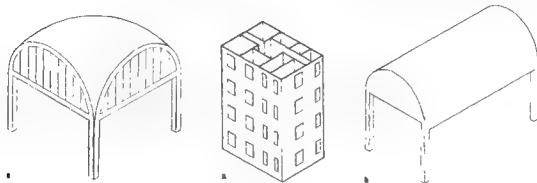
الفتولات	الإسم	الدلالة التخطيطية لطريقة التثبيت .
لا شيء	فتحة	
عزم عزم محوري	مسند مدحرج	
عزم عزم محوري	مفصلة	
عزم عزم	فتحة	

● المنشآت السطحية

● المنشآت الحلوية :

7.01 : تدرج المنشآت السطحية ، ضمن تصنيف
أساسين ، الأول يدعى المنشآت الحلوية ، وفيه تتألف المنشآت

من بلاطات مستوية ، ترتب على هيئة صندوق ، والثانية منشآت
سطوحها منحنية ، كالقشريات ، القباب ، وما إلى ذلك ، أنظر
الشكل (٧٤ - ٧) .



الشكل (٧٤ - ٧ ب) : منشأة قشرية على شكل اسطوانة الشكل (٧٤ - ٧ أ) : منشأة حلوية الشكل (٧٤ - ٧ ج) : منشأة قشرية ذات منحنيين .

الشكل (٧٤ - ٧) : يظهر الشكل مجموعة من المنشآت السطحية .

7.82 : يعد جدار البلوك الحامل ، واحداً من أشكال المنشآت الخلوية ، والذي ستأوله بمزيد من التفصيل في الجزء الثامن «المنشآت الحجرية» .

يتضمن التحليل عموماً ، حساب الحمولة الواقعة على بانوه شاقولي ، والناشئة عن ما تتلقاه من حمولات مِيتة وحية ، إضافة إلى تقدير حمولات الرياح ، مستعينين بحساب ذلك ، بأساليب الحساب التقريبي . يمكننا تقدير الحمولات الميتة والحية ، المحمولة على بانوه ، من خلال تأمل مسقط البناء . يمكننا حساب حمولة الرياح ، بالنظر إلى البناء وكأنه جسر ظفري ، امتد شاقولياً .

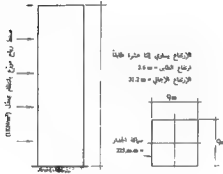
يمكننا باستخدام أساليب تمّ شرحها سابقاً ، إيجاد المحور المحايد وثوابت المقطع . يمكننا بعد ذلك ، استخدام القيم هذه ، لإيجاد الإجهادات الأعظمية ، التي تتناوب الباتوهات ، والناشئة عن الرياح .

7.83 : لتأمل المثال الموضح في الشكل ، ولنحسب حمولة الرياح :

$$A = 4 \times 9 = 36 \text{ m}^2$$

$$I = \frac{2}{3} \times 9 \times 36 = 216 \text{ m}^3$$

$$Z = \frac{216}{4.5} = 48 \text{ m}^2$$



- الحمولات

الحمولات والأوزان الميتة على كافة الأرضيات وعلى

السطح تساوي : 2.5 KN/m^2

الحمولة الحية على كافة الأرضيات وعلى السطح تساوي :

2.5 KN/m^2 . وورد الجدار = 4.5 KN/m^2

عزم الوثاق الناشئة عن حمولة الرياح =

$$\frac{W_e}{2} = 1 \times 9 \times (31.2)^2 \times 0.5 = 4380 \text{ KN/m}$$

إذاً إجهاد الرياح =

$$\pm \frac{M}{Z} = \pm \frac{4380}{24.1} = \pm 182 \text{ N/m}^2$$

$$\pm 0.18 \text{ N/mm}^2 = \sigma$$

الوزن الميت الكلي للبناء =

$$\times$$

$$12 = 2.5 \times (9) + 4 \times 4.5 \times 9 + 31.2 \text{ (الحدود)}$$

$$= 7484 \text{ KN}$$

الحمولات الحية الكلية =

$$\times$$

$$12 = 2 \times (9) = 1944 \text{ KN}$$

إجهاد الحمولة الميتة =

$$\frac{7484}{8.1} = 920 \text{ KN/m}^2 = 0.92 \text{ N/mm}^2$$

إجهاد الحمولة الحية :

$$\frac{1944}{8.1} = 240 \text{ KN/m}^2 = 0.24 \text{ N/mm}^2$$

إجهاد الضغط الأعظمي = إجهاد الحمولة الميتة + إجهاد الرياح + إجهاد الحمولة الحية .

$$\text{إجهاد الضغط الأعظمي} = 0.92 + 0.24 + 0.18 = 1.34 \text{ N/mm}^2$$

إجهاد الضغط الأصغري = إجهاد الحمولة الحية - إجهاد الرياح

$$\text{إجهاد الضغط الأصغري} = 0.92 - 0.18 = 0.74 \text{ N/mm}^2$$

-7.04 : إنَّ الإجهادات الناشئة عن حمولات ميتة ، في

النقاط ذاتها ، ينبغي لها أن تضاف إلى حمولات الرياح . في

جدران البلوك الحاملة ، لا نجيز تأثيرات قوى الشد ، وبالتالي

ينبغي أن تتجاوز إجهادات الحمولة الميتة ، إجهادات الشد الناشئة

عن الرياح ، بهامش أمان معقول .

-7.05 : في منشآت البانوهات المشادة من البتون مسبق

الإجهاد ، يمكننا حشر قضبان ربط شاقولية ، في الوصلات ما بين

البانوهات ، لامتصاص قوى شد الرياح أما في جدران السلوك

والبتون ، فإنَّ إجهادات الضغط ، التي هي حسيطة جمع

إجهادات ضغط الرياح الأعظمية ، إلى إجهادات الحمولات الحية

والميتة ، ينبغي أن تكون قيمتها ، ضمن حدود قدرة المادّة على

التحمل .

• منشآت السطح المنحني :

7.86 : هناك كتب عديدة ، تتناول طرق حساب منشآت السطوح المنحنية ، إلا أننا سنقدم هنا ، خطوطاً عريضة ، تمكّننا من تحليل وفهم ما يتأتى تلك السطوح ، عند تلقيها لقوى مفروضة . قبل النظر في مقاومة السطوح المنحنية ، ينبغي إدراك الخصائص الهندسية ، التي تتميز بها سطوحها .

7.87 : يمكن النظر إلى أي سطح ، باعتباره سلسلة من الخطوط . تدعى كافة الخطوط اللامستقيمة ، خطوطاً مسحية . تتنوع درجة انحناء الخطوط اللامستقيمة ، عند كل نقطة من نقاط الخط ، أنظر الشكل (٢-٢٥) . تنصف الخطوط الدائرية ، بنصف قطر انحناء ثابت . ترتبط درجة انحناء نقاط الأشكال

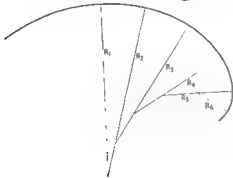


الشكل (٢-٢٦) : يوضح الشكل درجة انحناء سطح .

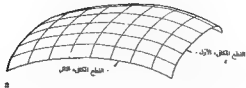
الدائرية ، بأنصاف أقطارها . بالمعلاقة التالية :

$$\frac{1}{R} = \text{درجة الانحناء}$$

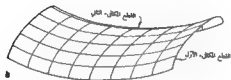
7.88 : تتحدد مقاطع عنصر السطح المنحني البسيط ، أنظر الشكل (٢-٢٦) ، بمحورين متجهين (x) و (y) ، وتتحدد درجة انحناء كل من خطوطها ، بالملاقتين $\frac{1}{R_x}$ و $\frac{1}{R_y}$. إن درجتي الانحناء هاتين ، تحدد السطح عند أي نقطة .



الشكل (٢-٢٥) : يوضح الشكل عدداً من أنصاف اقطار انحناءات خط منحنى عادي .



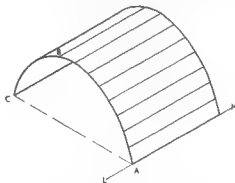
الشكل (٢٨-١) : يظهر الشكل قطعاً مكافئاً أهليلجياً



الشكل (٢٨-٢) : يظهر الشكل قطعاً مكافئاً زائداً .

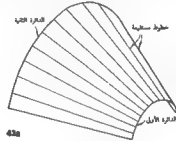
الشكل (٢٨-٣) : يظهر الشكل سطوحاً انتقالية

7.29 : إنَّ الخط (ABC) ، الموضح في الشكل (٢٧-٢) ، هو خط يشكّل نصف دائرة ، نصف قطرها (R) . يثمر تحوّل النقطة (A) ، الواقعة على الخط هذا ، على طول المولد الممثل بالمستقيم (LM) ، من نصف اسطوانة يمكننا توليد العديد من السطوح ، بتحريك أحد الخطوط على طول آخر . إن بقيت هذه الخطوط موازية لنفسها ، دعيت السطوح المكوّنة هذه ، السطوح الإنتقالية ، أنظر الشكل (٢٨-٢) .

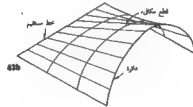


الشكل (٢٧-٢) : يظهر الشكل كيفية توليد سطح بتحريك خط ما (ABC) ، على طول خط آخر (LM)

7.18- : عل أيّ حال ، لا يتحرّك الخط دوماً ،
 بشكل مواز لنفسه ، إذ يمكن أن يتبع طرفاه ، منحنيين
 مختلفين ، مما يولّد سطوحاً مخروطية الشكل ، أنظر الشكل
 (٢٩-٢) . إن ثبت أحد الطرفين ، وترك الآخر يتحرّك
 على محيط دائرة ، لكانت النتيجة ، سطحاً دورانياً ذي
 محور واحد ، أنظر الشكل (٣٠-٢) .



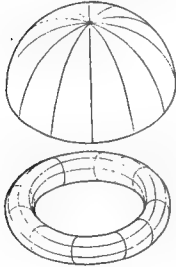
43a



43b

الشكل (٢٩-٢) . يظهر الشكل سطوحاً مخروطية

7.11- : إن معرفتنا بالخصائص الهندسية هذه ،
 تساعدنا على تفهم طرق التحليل الإنشائي ، المتبعة في
 التحليل الإنشائي ، لثلاثة أنواع رئيسية ، من أنواع
 القشريات ، وهي : القشريات السمكية ، القشريات
 الرقيقة ، والعناصر الغشائية .

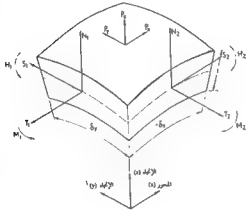


الشكل (٣٠-٢) . يظهر الشكل سطوحاً دورانية

* القشريات السمكية :

7.12- : يوضح الشكل (٣١-٢) ، عنصراً بسيطاً

على شكل قشرية ثخينة ، كما يوضح القوى الرئيسية المؤثرة عليها من كل وجه . تدعى القوى الموضحة هذه ،



الشكل (٣١-٢) : يظهر الشكل عنصراً من قشرية ثخينة

* العناصر الغشائية :

7.14- : الغشاء عبارة عن قشرية نحيلة جداً ، بحيث لا تملك أي قدرة على مقاومة ما يدعوها إلى الإنثناء . لذا ينبغي أن تكون محصلة الإجهادات ، المرموز لها بـ (H, M, N) تساوي صفراً ، تاركينها خاضعة فقط ، لمحصلي الإجهاد ، المرموز لها بـ (T, S) ، أنظر الشكل (٣٢-٧) . كما ينبغي أن تقتصر إجهادات المحصلة (T) على إجهادات الشد ، لكون إجهادات الضغط ، تسبب تحذب المشاة الغشائية هذه ، لعدم تحملها بالصلاة الكافية لمقاومة ذلك .

7.15- : لتتأمل العنصر الإنشائي الموضح في الشكل (٣٢-٢) ، حيث تساوي درجتي الإنحناء في الإنحمارين (x, y) $(\frac{1}{R_x})$ و $(\frac{1}{R_y})$ على التوالي . كما تقابل حواف العنصر الغشائي هذا ، زاويتي (α) و (β) ، عند محور درجة الإنحناء . إن الضغط المطبق على العنصر لكل وحدة مساحة عمودية على السطح تساوي (P) . لنحلل في الإنحاء هذا :

محصلات الإجهاد ، وهي عبارة عن قوى تخضع لها كل وحدة طول من قوس السطح للحصول على الإجهادات هذه ، تقسم القشرية إلى اقسام ، سبابة كل منها (١) .

7.13- : يتعرض كل وجه مقطوع من وجوه القشرية ، إلى خسة أشكال من محصلات الإجهاد :

«T» : وهي حسيبة الإجهاد المباشر ، العامل عند المحور المحايد للمقطع .

«S» : وهي المركبة المماسية .

«N» : وهي المركبة العمودية ، لمحصلة إجهادات القص . إلا أن الإجهاد المباشر ، ليس ثابتاً على كامل مقطع القشرية ، لذا توجد أيضاً :

«M» : وهي عزم محصلة إجهاد الإجهادات المباشرة ، الواقعة على المقطع .

«H» : وهي محصلة إجهاد مختلف إجهادات القص العابرة للمقطع ، وهي بمثابة عروم قتل . تنتج الإجهادات هذه ، من القوى المطبقة P_x, P_y, P_z . يشار إلى إحداثيات العنصر في الإنحمارات (x, y, z) بـ (u, v, w) على الترتيب . يتطلب تحليل محصلات الإجهاد هذه ، تقنيات متقدمة .

$$P_x \alpha R_x \times \beta R_y = 2T_x \times \beta R_y \times \sin \alpha / 2 + 2T_y \times \alpha R_x \times \sin \beta / 2$$

وبما أنَّ الزاويتين (β , α) صغيرتين جداً ، فإنَّ :

$$\sin \alpha / 2 \approx \alpha / 2$$

لهذا يمكن كتابة :

$$P.R_x.R_y = T_x.R_y + T_y.R_x$$

$$P = \frac{T_x}{R_x} + \frac{T_y}{R_y}$$

7.16- : كمثال حل ذلك ، لتتأمل بالوناً كروياً ، صياغة مادته (0.5 mm) ، وقطره ستون متراً . فإذا كان الضغط الداخلي يعادل (1400 N/m²) ، فما هي الإجهادات الواقعة في المادة ؟

بما أنَّ البالون كروي الشكل فإنَّ :

$$T_x = T_y$$

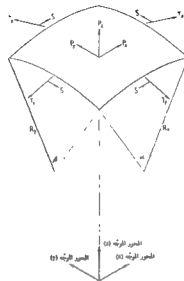
$$R_x = R_y \quad \text{و :}$$

$$P = \frac{2T}{R} \quad \text{لهذا :}$$

$$T = \frac{1}{2} R.P \quad \text{و :}$$

$$= \frac{1}{2} \times 30 \times 1400$$

$$= 21000 \text{ N/m.}$$



الشكل (٣٢ - ٢) : يظهر الشكل عنصر غشائي

الإجهاد الآن يساوي :

$$\frac{T}{\text{المساحة}} = \frac{21000}{0.5 \times 10^9} = 42 \text{ N/mm}^2$$

الإجهادات العشائية . إن معظم المنشآت المنحنية المعروفة ، هي قشريات نحيلة ، وليست بقشريات سميكة أو غشائية .

7.19- : يحتاج تحليل المنشأة القشرية النحيلة النموذجية ، كالأسقف البيتونية ، اسطوانية الشكل ، شيئاً من الدراية . تبدأ الإجهادات اللاغشائية بالسيطرة ، بالقرب من أطراف القشرية . يمكن معالجة القشرية الطويلة ، التي يزيد طولها عن أربعة أضعاف درجة انحناء السقف ، معاملة الجسور العادية ، مع المحافظة على البنية الهندسية ، للجملة الإنشائية . في حالة القشرية العادية ، مع المحافظة على السية الهندسية ، للجملة الإنشائية . في حالة القشرية الاسطوانية المتميزة بالصفة هذه ، نجد أن الجبالونات القشرية ، هي جبالونات صلبة ، بما فيه الكفاية ، لجمال الإجهادات اللاغشائية ، هي المسيطرة على العناصر هذه .

نجد من الضروري في القشريات الطويلة ، أن نحول دون أن نمثد الحواف المستقيمة للسطوح ، بشكل عرضي ، مفضية للفعل القوسي . يمكن لنا إنجاز ذلك ، باستخدام الجسور الطرية .

7.17- : إن محصلات قوة القص ، لا تدخل في حساباتها هذه ، وذلك لعدم وجود مركبة عمودية على سطح كروي . ولكن في أنواع أخرى من السطوح ، تلعب قوى القص هذه ، دوراً كبيراً في تعزيز مقاومة المنشأة العشائية هذه ، للحمولات الممودة العاملة على إحباط توازنها . تعامل الخيم ، البالونات ، والمنشآت المملوءة غازات مضغوطة ، معاملة المنشآت العشائية ، إن أريد تحليلها تحليلاً إنشائياً .

* القشريات النحيلة :

7.18- : لا يجوز أن تتعرض القشرية النحيلة ، إلى عزوم انعطاف ، أو إلى إجهادات عمودية ، كما لا يجوز ذلك للقشريات الرقيقة ، التي تتحلب فور تعرضها لإجهادات ضغط بسيطة . على ذلك ، لا يبق من محصلات الإجهادات ، سوى المحصلتين «T» و«S» ، حيث يمكن أن تكون «T» ، إجهادات ضغط ، كما يمكن أن تكون إجهادات شد . يوجد أيضاً ما يدعى ، بمحصلة

$$Z_1 = 0.83 \text{ tr}^2$$

$$Z_2 = 0.47 \text{ tr}^2$$

إذا :

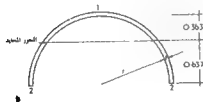
$$f_c = \frac{664}{0.83 \times 0.075 \times (3)^2} = 1185 \text{ KN/m}^2 =$$

$$119 \text{ N/m}^2$$

وكذلك :

$$f_t = \frac{664}{0.47 \times 0.075 \times (3)^2} = 2093 \text{ KN/m}^2 =$$

$$2.09 \text{ N/m}^2 .$$



7.28 - يعطينا التحليل الموضّح في الشكل

(٧-٣٣) ، فكرة موجزة وتقريبية عن الإجهادات

الطبقة ، بينما يترك التصميم الدقيق ، للمهندس المختص .

الحمولة لكل متر امتداد =

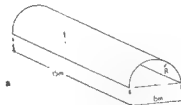
$$\frac{\pi \times 6}{2} \times 2.5 = 23.6 \text{ KN}$$

إذا العزم في وسط المجاز يساوي :

$$\frac{23.6 \times (15)^2}{8} = 664 \text{ KNm}$$

$$A = \pi r t = 3.142 \times r t$$

$$I = t r^3 \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{4} \right) = 0.298 \text{ tr}^3$$



الشكل (٧-٣٣) : يظهر الشكل نموذجين لشابطين قشريتين .

● الصفحة المتحركة :

7.21 : نمذُ الصفحة المتحركة ، أحد أمثلة القشريات الرقيقة . تصمّم أمثال تلك الصفائح ، وكأنها جسر تمتد في الإتجاه الطولي . فضلاً عن ذلك ، يمكننا تقدير الإجهادات العرضية ، بالنظر إلى المنشأة ، وكأنها سلسلة من الجسور المستمرة ، تعمل فيها الطّيات ، عمل مساند الإرتكاز . وبما أننا نستطيع تطبيق تلك الطريقة ، على الصفائح الطرفية ، كان لا بدّ من إيفال الحواف الحرة ، إلى صلابة كافية ، بطرفه ما .

7.22 : يوضّح الشكل (٣٤-٢-أ) ، مثلاً ، لصفحة قشرية ذات طّيات . تبلغ الحمولة على المسقط ، ما مقداره (6 KN/m²) .

عزم الإنثناء الطولي :

$$M = \frac{Wd^2}{8} = \frac{6 \times 8 \times (20)^2}{8} = 2400 \text{ K.N.m} .$$

المقطع المكافئ ، أنظر الشكل (٣٤-٢-ب) :

$$Z = \frac{bd^2}{6} = \frac{0.46 \times (3.46)^2}{6} = 0.92 \text{ m}^3$$

إذاً :

$$f_{bc} = f_{bt} = \frac{2400}{0.92} = 2.60 \text{ N/m.m}^2 .$$

حساب عزم الإنعطاف في الإتجاه العرضي ، أنظر الشكل (٣٤-٢-ج) .

العزم السالب الأعظمي عند (B و D) :

$$= 3 \times (4)^2 \times 0.107 = 5.15 \text{ KNm} .$$

العزم الموجب الأعظمي في المجازات (AB و DE) :

$$= 3 \times (4)^2 \times 0.077 = 3.07 \text{ KNm} .$$

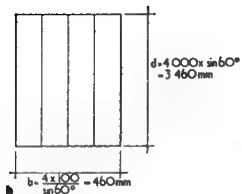
ويكون قيمة المعامل «Z» ، لكل (١) م من

العرض :

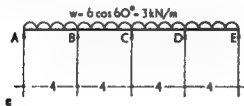
$$= \frac{1 \times (0.1)^2}{6} = 0.00167 \text{ m}^3$$

إذاً :

$$f_{bc} = f_{bt} = \frac{5.51 \times 10^{-3}}{0.00167} = 3.08 \text{ N/m.m}^2 .$$

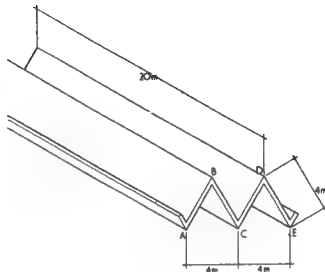


الشكل (٢-٣٤ ب) : يظهر الشكل المقطع المكافئ.



الشكل (٢-٣٤ ج) : يظهر الشكل المزوم المرضي أو الإنحناء المرضي.

الشكل (٢-٣٤ د) : يظهر الشكل نموذج لصفيحة متعرجة.



الشكل (٢-٣٤ أ) : الشكل النظوري للصفيحة المتعرجة.

● القشريات ذات الفتحات الشبالية :

7.23 : إنَّ القشريّة ذات الفتحات الشبالية ، هي المثال الثالث ، للقشريّة الرقيقة ، وبها يتغلّط تأثير القوى والإجهادات في الإنحطاط العرضي ، يوضح الشكل (٢-٣٥) سلسلة من القشريات هذه ، المثبّطة مدعيات انضغاطيّة عند الفواصل ، مع جملونات لتأكيد الحفاظ على معالم القشريّة الجانبيّة . عند تحليل أمثال الجمل الإنشائيّة هذه ، يمكن النظر إلى كلّ مجاز من مجازات القشريّة ، وكأنّه جسر من الجسور .

إنَّ المقطع للدروس هذا ، مقطّعاً متخالفاً حول محور شاقولي ، مار من مركز المساحة . تحلّل الحمولة الشاقوليّة ، إلى مركّبات موازية للمحاور الرئيسة ، ومن ثمّ بحسب الإجهادات .

المجاز يساوي (12 m) بمساند حرّة ،

حمولة التلوج = (0.75 KN/m^2) على السقوط .

$$A = 385 \times 10^3 \text{ m}^2$$

$$I_{xx} = 15.8 \times 10^9 \text{ m}^4$$

$$I_{yy} = 348 \times 10^9 \text{ m}^4$$

الحمولات :

الحمولات الميئة الكلية للقشريّة :

$$= 25 \times 385 \times 10^3 \times 10^{-6}$$

$$= 9.6 \text{ KN/m}$$

حمولة التلوج الكلية :

$$= 0.75 \times 2.0 = 1.5 \text{ KN/m}$$

الحمولة الكلية :

$$\approx 9.6 + 1.5 = 11.1 \text{ KN/m}$$

نحلّل الحمولة الشاقوليّة هذه ، إلى مكوّناتها ،

مسقطه على محوري القشريّة (x) و (y) :

$$11.1 \cos 45^\circ = 7.85 \text{ KN/m} = \text{كل مركّبة}$$



الشكل (٢-٣٥) : يظهر الشكل سلسلة من القشريات ذات الفتحات الشبالية

$$Z_{yy} = \frac{348 \times 10^9}{1200} \approx 29 \times 10^7$$

إذاً :

$$f_{bc} = \frac{141 \times 10^6}{44 \times 10^6} + \frac{141 \times 10^6}{29 \times 10^7}$$

$$= 3.2 + 0.49 = 3.69 \text{ N/mm}^2 .$$

إن افترضنا أنَّ الإجهاد ثابت على كامل الجسر ، فإنَّ
قوة الشد تساوي :

$$3.69 \times 250 \times 300 \text{ N} = 277 \text{ KN} .$$

إن كانت مادة الإنشاء ، مادة معدنية ، وقدرة

تحملها للإجهادات تساوي (200 N/m.m^2) ، فإنَّ مساحة
مقطع الجسر الكفؤ :

$$= \frac{277 \times 10^3}{200} = 1385 \text{ m.m}^2$$

إذاً عزم الإنعطاف في كل اتجاه :

$$= \frac{7.85 \times (12)^2}{8} = 141 \text{ KNm} .$$

الضغط الأعظمي في الشريحة عند النقطة (B) :

$$Z_{xx} = \frac{15.8 \times 10^9}{330} = 4.8 \times 10^7 \text{ m.m}^3$$

إذاً :

$$f_{bc} = \frac{141 \times 10^6}{4.8 \times 10^7} = 2.94 \text{ N/m.m}^2$$

الضغط الأعظمي عند النقطة (C) :

$$Z_{xx} = \frac{15.8 \times 10^9}{160} = 9.9 \times 10^7$$

$$Z_{yy} = \frac{384 \times 10^9}{1480} = 23.5 \times 10^7$$

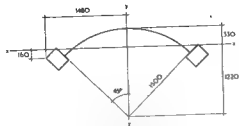
إذاً :

$$f_{bc} = \frac{141 \times 10^6}{23.5 \times 10^7} - \frac{141 \times 10^6}{9.9 \times 10^7} =$$

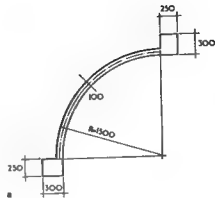
$$= 0.60 - 1.42 = -0.82 \text{ N/m.m}^2 \text{ (شد)}$$

الشد الأعظمي عند النقطة (A) :

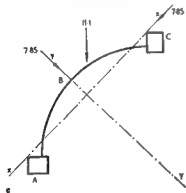
$$Z_{xx} = \frac{15.8 \times 10^9}{15.8} = 10^9$$



الشكل (٣٦-ب) يظهر الشكل الفشرية بأطوالها



الشكل (٣٦-أ) . يظهر الشكل ، الشكل التفاضلي للفشرية



الشكل (٣٦-ج) : يظهر الشكل القوى المؤثرة على الفشرية

الشكل (٣٦-د) : يظهر الشكل مثال لفشرية ذات فتحة شائعة

• القطع المكافئ الزائدي :

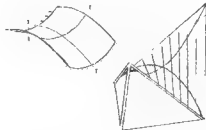
7.24 : لتأمل القطعين المكافئين (1) و(2) ،
المشكَّلين للقطع المكافئ الزائدي ، الموضح في الشكل
(٢٨-٢). كما نلاحظ أنَّ القطعين هذين ، قطعان
متماثلان ، وكلٌّ منهما يعاكس الآخر . ياخذ وضعيه التماثل
بعين الاعتبار ، نستطيع أن نرى ، أنَّه عند تطبيق الحمولة
الشاقولية (W) ، فإنَّ الإجهاد في كلَّ اتجاه ، سيكون
متساوياً في القيمة ، متاكساً في الإشارة . يعمل الغشاء في
الشكل (٣٧-٢-١) ، والمتجه باتجاه المحور (x) ، كما
تعمل الأقواس ، وتعمل العناصر في الاتجاه (y) ، كما
تعمل الأكيال .

7.25 : من المعادلة المدرجة في الفقرة (7.15) ، وعند
نقطة استناد القشرية ، تكون الحمولة مساوية لـ :

$$W = \frac{T}{R} + \frac{-T}{-R} = \frac{2T}{R}$$

إذاً :

$$T = \frac{1}{2} WR$$



الشكل (٣٧-٢) يظهر الشكل قطوع مكافئة زائدية

7.26 : إن كانت القشرية ضحلة ، فإنَّ اختلافات

(R) ، تبقى ثابتة تقريباً ، حل كامل السطح ، وبالتالي
تبقى محصلات الإجهاد في كلَّ اتجاه ثابتة . لا يوجد أيضاً
إجهاد غشائي ، في اتجاه المحورين (x) و(y) . وكما أشرنا
سابقاً ، إنَّ المستويين عند الزاوية (٤٥°) للمحورين (x)
و(y) ، لها محصلات إجهاد قص تساوي

$$\left(\frac{1}{2} \cdot WR \right) ، ولكن تظل بمثابة إجهادات$$

لا مباشرة . ذلك يعني أننا نستطيع ، حل حواف

القشرية ، بإنشاء جسور نحيلة ، وظيفتها فقط ،

اتصاف إجهادات القص ، شريطة أن تكون الجسور

هذه ، تصنع مع محاور القشرية ، زاوية (٤٥°) ، أنظر

الشكل (٣٧-٢-ب) ، وبذلك نستفي عن جسور

ضخمة ، كان ينبغي إزاحتها ، لكي تعمل على استيعاب

قوى الدفع والشد ، الناشئة عن الإجهادات المباشرة .

ينبغي أن تكون الجسور هذه أيضاً ، جسوراً مستقيمة ،

كما هو موضح في الشكل (٢٨-٢) .

• القبة نصف الكروية :

- 7.27 : إن تأملنا غطاء القبة نصف الكروية ، الموضحة في الشكل (٣٨-٧) ، لوجدنا أنَّ هناك محصلة إجهاد ضغط عشوائي ، يعمل في إتجاه دائرة الزوال ، ويقع حول القاعدة ، نرسم له بـ (T_1) . إن كان وزن وحدة مادة القبة تساوي (W) ، فإنَّ تحليل القوى في الإتجاه الشاقولي يعطينا

$$W \times 2\pi R (1 - \cos \phi) = T_1 \sin \phi \times 2\pi R \sin \phi .$$

$$T_1 = \frac{WR}{1 + \cos \phi}$$

- 7.28 : من المعادلة المتدونة في الفقرة (7.15) ،

نستطيع أن نكتب :

$$W \cos \phi = \frac{T_1}{R} + \frac{T_2}{R}$$

لذا :

$$T_2 = WR (\cos \phi - \frac{1}{1 + \cos \phi})$$

حيث (T_2) هو الإجهاد الحلقي .

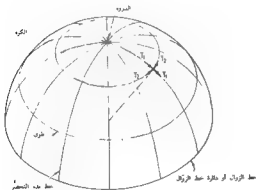
- 7.29 : مثال .

المطلوب حساب الإجهادات لقبة نصف كروية ، قطرها (٧٠) متراً ، وسكابة مادتها (75 m.m) ، والحمولة (2.4 KN/m^2) .

قيمة الزاوية (ϕ) عند قمة القبة تساوي صفراً .
لذا

$$T_1 = T_2 = \frac{1}{2} WR = \frac{1}{2} (2.4) \times 10 = 12$$

KN/m



الشكل (٣٨-٧) : يظهر الشكل تحليلاً لقبة نصف كروية

- 7.31 : إنَّ استخدم الإجهاد الأعظمي المساوي
لـ (200 N/m.m^2) ، فإننا سنحصل على زيادة في محيط
الدائرة تساوي :

$$\frac{\text{الإجهاد}}{\text{الطول الأصلي}} \times \frac{E}{207} = \frac{200}{207} \times 10^3 \times 20000 \times \pi = 60 \text{ m.m.}$$

كما يسبب زيادة في قطر القبة مقدارها :

$$\frac{60}{\pi} = 19 \text{ m.m.}$$

وبذا تكون إجهادات الضغط الموافقة تساوي :

$$\frac{12000}{1000 \times 75} = 0.16 \text{ N/m.m}^2$$

عند خط بدء تخرُّب القبة ، يصبح إجهاد دائرة
الروال (T_1) مساوياً لـ .

$$T_1 = WR = 24 \text{ KN/m.}$$

وإجهاد الصعط = (0.32 N/m.m^2)

الإجهاد الحلقي يساوي : $T_2 = -WR$

وبالتالي إجهاد الشد يساوي : (0.32 N/m.m^2) .

- 7.30 . يَسبب الإجهاد الحلقي ، توسُّعاً في امتداد

أطراف القبة ، مما يسبب تغيراً في البنية الهندسية للمنشأة .

يمكننا تجنب ذلك ، بإنشاء حصر حلقي . يعمل الجسر

الحلقي ، على حثِّ إجهادات لا غشائية في القشرة ، تقع

إلى جوار الجسر ذاك . يستخدم حديد التسليح عند

الإجهاد المنخفض ، لتجنب الإجهادات اللا غشائية

هذه ، وللمحورول دون التوسُّع المفرط ، لأطراف القبة .

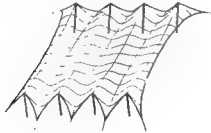
الفصل الثالث

تعاريف أساسية وجداول حساب معيارية.

● المقدمة :

والاصطلاحات ، التي تناولناها في الجرتين الثاني والثالث من موسوعتنا هذه . كما تناول الفصل فكرة عن نظرية المصفوفات ، وبعض الجداول الخاصة بحسابات الجسور .

لأنّ استكمالاً للبحث ، من تحليل النتائج الإنشائية المعرضة مقاطعها لإجهادات شد ، وهذا ما كان . تناولنا أيضاً في هذا الفصل ، قائمة تحوي مجموعة من التعاريف



● منشآت الشد :

● تحليل المنشآت المحمولة على أكبال :

1.01 : تندرج منشآت الشد ضمن توصيف رئيسيين ، أولها وتدعى المنشآت المحمولة على أكبال ، وثانيها وتدعى المنشآت العشائية . إن أبسط شكل من أشكال المنشآت المحمولة على أكبال ، هو الرابط الشاقولي ، المثبت من الأعلى ، بحمولة متجهة نحو الأسفل . يعد الجدار الخارجي والأطراف الخارجية لبلاطات الأرضية ، المحمولة على روابط شاقولية ، متدالة من أظفار ضخمة ، متواجدة على منسوب السقف ، والمحمولة بدورها على القلب المركزي الحامل ، شكلاً آخر من أشكال منشآت الشد .

إن تحليل أمثال الجمل الإنشائية هذه ، يعد عملاً بسيطاً ، ولا يحتاج إلى عناء كبير .

1.02 : تستخدم الأكبال لحمل منشآت يراد الإمتداد بها أفقياً ، لمسافات كبيرة ، مستفيدين من وزن الأكبال الضئيل نسبياً . على أي حال ، ينبغي أن تثبت الأكبال جيداً ، وأن تحوي جمل المنشآت هذه ، على عناصر ضخمة ، لتستطيع تحمل الضغوط المفروضة .

1.03 : يبلغ طول الكبل الموضح في الشكل (1-3-أ) حقه ، ووزنه الذاتي ضئيل ، بما يكفي لإهماله . تبلغ المسافة ما بين نقطتي التثبيت (I) . وتبلغ مسافة ارتخاء الكبل ، نتيجة تأثير حولة مركزة مقدارها (P) ، المسافة (h) .

استناداً إلى نظرية فيثاغورث ، يمكننا أن نكتب :

$$\frac{L^2}{4} = \frac{r^2}{4} + h^2$$

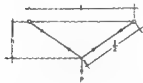
إذا :

$$L = I \sqrt{1 + 4 \frac{h^2}{I^2}}$$

ولكن : (نسبة الإرتخاء r)

$$r = \frac{h}{I}$$

$$L = I \sqrt{1 + 4r^2}$$



الشكل (1-3-أ) : كبل حمل بحمولة محورية بسيطة

$$H = T \cos \theta$$

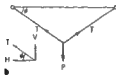
$$= \frac{P}{2 \tan \theta}$$

لكي :

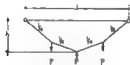
$$\tan \theta = \frac{2h}{l}$$

إذا :

$$H = \frac{Pl}{4h}$$



الشكل (١-٣-ب) : يظهر الشكل خطّ القوى



الشكل (٢-٣) . يظهر الشكل كبلًا محمّلًا بعدد من الحمولات المتساوية ، والتي يحدّد فيها بينها مسافات متساوية

إذا كانت (r) بسيطة ، أي أنّ مسافة الإرتقاء ، هي مسافة بسيطة ، إذا ما قورنت بطول المجاز ، فإنّ :
 $1 + 4r^2 = (1 + 2r^2)^2$
 إذا :

$$L = l (1 + 2r^2)$$

- 1.04 : يمكننا أيضاً استخلاص النتائج المترتبة عن تحمل كبل ، لعدد من الحمولات المركّزة ، والموزعة على مسافات متساوية ، أنظر الشكل (٢-٣) ، كما يلي :
 $L = l (1 + Kr^2)$

سندرج هنا جدولاً لقيم (K) ، بالمقارنة مع عدد الحمولات :

$$\text{عدد الحمولات} = 1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \ 6 =$$

$$K = 2.67 \ 2.7 \ 2.6 \ 2.8 \ 2.5 \ 3.2 =$$

- 1.05 : الآن ، لتأمّل النظام المشابه لما سلف ، والموضّح في الشكل (١-٣-ب) . لتحلّل القوى شاقوليّاً ، وذلك عند نقطة تعليق الحمولة :

$$2 T \cos \theta = P$$

تحلّل قوّة الشد في الكبل ، إلى مركّبة أفقيّة (H) ، وشاقوليّة (V) ، حيث :

إن المقدار $\left(\frac{P_1}{4}\right)$ ، يمثل العزم في وسط

الكبل (M_1) ، الناتج عن جسر ذو استناد بسيط ، طول مجازه (L) ، ومعرض لحمولة مركزة قيمتها (P) . يمكننا أيضاً ملاحظة ذات الشيء ، تحت وطأة ظروف تحميل مغايرة ، أي :

$$H = \frac{M_1}{h}$$

لهذا ، فإن كبلًا تحت وطأة حمولة شاقولية موزعة بانتظام ، يتعرض لزيادات في الاتجاه الأفقي ، تتخذ شكل قطع مكافئ ، وقيمتها عند كل نقطة تساوي :

$$H = \frac{Wl^2}{8h}$$

إذا كان الكبل ذي وزن قليل ، فإن له من وزنه الذاتي ، حركات شاقولية ، موزعة بانتظام ، تسبب زيادات تتم على طول منحنى الكبل ، مما تجعل الكبل يتخذ شكل منحنى السلسلة ، ومنحنى السلسلة هذا تعريفاً ، هو المنحنى الذي تأخذ سلسلة منتظمة ، إذا حُلّت من طرفيها تعليقاً حرّاً .

- 1.06 : أصبح واضحاً الآن ، أن تغيرات الصورة

الجائنية ، لكبل محمل بعدد من الحمولات المتتالية ، هي تغيرات تتم وفقاً للتغيرات الطارئة على الحمولات هذه . لهذا يكون من غير المناسب تعليق السقف ، بكبل وحيد ، كما هو موضح في الشكل (٣-٣) ، وذلك بسبب ما يمكن أن يطرأ من تغيرات مفاجئة ، على شكل السقف ، نتيجة هبوب رياح قوية مثلاً ، أو تساقط ثلوج بكميات موزعة على سطح السقف عشوائياً ، مما سيؤدي حتماً ، إلى انهيار السقف ، وبشكل مفاجئ .



الشكل (٣-٣) : يظهر الشكل مشابة حمولة على كبل قيد الإجهاد

1.87 - توجد ثلاثة أساليب للتغلب على الظروف

هذه وهي :

١ - تعمل على زيادة الوزن الذاتي للحمولات المعلقة . فعلى الرغم من المالب الواضحة للطريقة هذه ، إلا أنها قادرة على تقليص فعالية الحمولات الطارئة .
٢ - تشد كل حولة بأكيال ثانوية . تقوم الأكيال هذه ، متلقي الحمولات الطارئة ، وتعمل على الحفاظ على شكل الحملة الأساسي . ليس بالإمكان دوماً فعل ذلك ، بالإضافة إلى أن حلاً كهذا ، قد يعد في بعض الأحيان ، حلاً غير ملائم .

٣ - الطريقة الثالثة وتعتمد على استخدام كبل متعدد العناصر ، مرتب وفق نظام معين ، تتكامل فيه عناصر الكبل هذا ، لتكون بمثابة إجهاد مسبق ، يزيد من متانة الكبل الرئيسي . يوضح الشكل (٤-٣) ، التطبيقات العملية للطرق الثلاث هذه .

1.88 - يقدم تحليل أنظمة وجمل كهذه ، تعريفاً للتأثيرات الثانوية ، المسبة لاهتزاز الأكيال المحملة ، اهتزازات دورية . إن دراسة اهتزازات المنشأة ككل ، واهتزازات كل جزء من المنشأة على حدى ، نتيجة تعرضها

لحمولات طبيعية ، يتم تلقيها وفق فواصل زمنية متساوية ، لمو أمر هام ، خصوصاً إن كانت الاهتزازات الترددية هذه ، نتيجة لتلقي المنشأة هبات رياح عاصفة ، تتكرر وفق فواصل زمنية ، لا تزيد على الثواني الثلاث ، إذ عندها سيكايد السقف ، أو جزءاً منه ، الكثير من المتاعب ، الناشئة عن الاهتزازات الخطرة هذه .



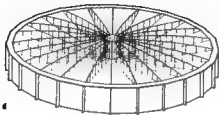
الشكل (٤-٣-أ) تثبيت كبل فوق كبل التعليق



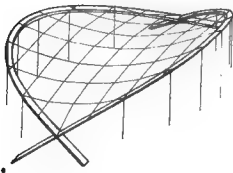
الشكل (٤-٣-ب) : تثبيت كبل تحت كبل التعليق



الشكل (٤-٣-ج) : تثبيت كبل بشكل جزئي أسفل كبل التعليق



الشكل (٤-٣-٥) . كبل على شكل إطار دراجة

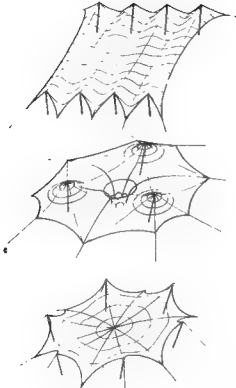


الشكل (٤-٣-٥) : نظام قوسي مع شبكة أكبال .

الشكل (٤-٣) : يظهر الشكل الأساليب الخمسة لتقوية الأكبال
المحملة

• الأغشية المشدودة :

١.٥٩ : لقد قلنا سابقاً ، أنَّ الأغشية الحقيقية ، تستطيع فقط تحمل قوى الشد ، إلا أنَّه أثناء التعامل مع القشريات الرقيقة ، ينبغي أن نأخذ بعين الاعتبار ، كل ما يجعل تلك القشريات ، أهلاً لتحمل كمية ما ، من قوى الضغط . هل كلُّ حال ، نستطيع أن نضع القشريات الرقيقة بالكامل ، في حالة توتر دائم ، عن طريق تعريضها لإجهادات مسبقة . يوضح الشكل (٣-٥) ، منشآت غشائية ، حل شكل قطوع زائفة ، عولجت بالطريقة هذه . كما يجوي الشكل ، أشكالاً أخرى ، عولجت أيضاً بذات الطريقة .



الشكل (٣-٥) : يظهر الشكل خمسة نماذج من الأغشية المشدودة .
إحداها حل شكل قطع مكافئ زائدي وهي المرموز لها بـ (a)



● موجز نظرية المصفوفات :

2.01- : سنقدم فيما يلي ، عرضاً موجزاً لنظرية المصفوفات ، آملين أن يكون كافياً ، لفهم المثال ، الذي جرى تناوله ، عند حل الإطار الحامل بطريقة مُعاملات التأثير .

2.02- : لتأمل قائمة المعادلات الآتية التالية :

$$a_1x + b_1y + c_1z = u_1$$

$$a_2x + b_2y + c_2z = u_2$$

$$a_3x + b_3y + c_3z = u_3$$

حيث : (x) ، (y) و (z) مقادير مجهولة ؛ و (a_1) ، (a_2) ، (a_3) ، (b_1) ، (b_2) ، (b_3) ، (c_1) ، (c_2) ، (c_3) إلخ . . . هي مُعاملات معلومة القيم ، تحوي قيمها مجموعة الأعداد العادية .

2.03- : يمكننا كتابة مجموعة المعادلات السابقة ، وفق الشكل التالي :

$$a_1 \ b_1 \ c_1 \quad x = u_1$$

$$a_2 \ b_2 \ c_2 \quad y = u_2$$

$$a_3 \ b_3 \ c_3 \quad z = u_3$$

ويمكن عددها الإشارة إليها على الشكل التالي :

$$A \times X = U$$

2.04- : هنا قيم (X) ، (A) و (U) ، ليست بقيم

عددية ، بل هي عبارة عن مصفوفات مؤلفة من مجموعة من الأعداد المرتبة بطريقة خاصة . تمثل مقادير المصفوفة هذه ، للعديد من القواعد الحسابية المعروفة ، ولذلك يمكننا كتابة العلاقة التالية :

$$X = A^{-1} \times U$$

إن (A^{-1}) هي معكوس (A) ، ونحن نستطيع حسابها بالطرق العادية ، ولكن يجب أن كانت مصفوفتها كبيرة ، حسابها بواسطة الحاسوب .

2.05- : تدعى العبارات ضمن المصفوفة ، عناصر المصفوفة . ترتب العناصر هذه وفق أعمدة وصفوف ، يبرعنا كتابة (B_{mm}) ، حيث (m) هو رقم الصف و (n) هو رقم العمود المشغول بالعنصر . لذا يمكن كتابة المصفوفة التي في الأعلى ، حل الشكل التالي :

$$B_{11} \ B_{12} \ B_{13}$$

$$B_{21} \ B_{22} \ B_{23}$$

$$B_{31} \ B_{32} \ B_{33}$$

2.06- : إذا كانت (مع) تساوي دوماً (مع)، فإنَّ

المصفوفة متماثلة . تسمى العناصر : $a_{11}, a_{22}, a_{33}, a_{nn}$ ،
عاصر قطريّة رئيسيّة .

2.07- : لضرب مصفوفتين ببعضهما ، نضرب

العنصر الأول من الصف الأول في المصفوفة (A) ،
بالعنصر الأول في المصفوفة (B) ، كما نضرب العنصر الثاني
من الصف الأول للمصفوف (A) ، بالعنصر الثاني من
العمود الأول للمصفوفة (B) ، وهكذا إلى أن تنتهي
عمليات ضرب كافة عناصر الصف الأول من المصفوفة
(A) ، بكافة عناصر العمود الأول من المصفوفة (B) ، كلاً
بنظيرها . بعدئذ نجمع كافة المقادير معاً ، لنحصل على
العنصر الأول من الصف والعمود الأول للمصفوفة
الجديدة .

1.08- : إذا أردنا على سبيل المثال . إيجاد حاصل

ضرب المصفوفة (A) بـ (B) نكتب :

$$C=A \times B$$

$$c_{11}=a_{11} \times b_{11}+a_{12} \times b_{21}+a_{13} \times b_{31}+ \dots$$

$$c_{mn}=a_{m1} \times b_{1n}+a_{m2} \times b_{2n}+a_{mn} \times b_{3n}+ \dots$$

لاحظ أنّ (A×B) ليست بالضرورة ، مساوية

لـ (B×A) .

● قائمة تعاريف :

3.01- : تمتد القائمة هذه ، قائمة تعاريف تتضمن

مجموعة هائلة من الرموز والعبارات ، تناولناها بالبحث
وال تفصيل ، من خلال الجزأين الثاني والثالث . وبذا
نكون قد كُتفنا المعلومات الأساسية ، التي يمكن لها
مساعدة المعاري ، في تبين ما إذا كانت المنشأة المصنعة
من قبله ، صالحة للتنفيذ ، أم هي ضرب من الخيال .
A:-

ويدل على مساحة المقطع المار من العنصر
الإنشائي .

B:-

ويدل الرمز على عرض المقطع المار من العنصر
الإنشائي .

C:-

ويدل الرمز على مساحة جزء من مقطع عنصر
إنشائي ، يقع فوق خط ، يبعد مسافة (y) عن المحور
المحاذ باتجاه الأعلى .

- الجسر :

تدل اللفظة على عنصر إنشائي ، خاضع في المقام الأول ، لإجهادات انحنائية .

- طريقة بوا :

هي طريقة لإيجاد القوى المؤثرة على العناصر المكونة لجائز شبكي ، غير مقرر سكونياً .

- جسر ظفري :

وهو جسر محمول بشكل كامل ، من طرف واحد .

- فائض العزم :

وهو عزم يتواجد في كل عقدة بعد تحريرها ، وإجراء عمليتي التوزيع والنقل ، وهو مفهوم تصدقه عندما يراد حل جائز مستمر بطريقة توزيع العزم .

- مركز المساحة :

هي نقطة واقعة على المقطع ، بحيث يكون دوماً قيمة العزم الأول ، حول أي محور مار من تلك النقطة مساوياً للصفر .

- دمج المخططات معاً :

هو أسلوب حسابي مستخدم في حل الأطر ، عن طريق استخدام طريقة معامل التأثير .

- مرتبة :

وهي جزء من القوة ، تعمل في اتجاه آخر

- جسر مستمر :

وهو جسر محمول على أكثر من مستدين اثنين .

- المزدوجة :

وهي قوتان تعملان في مستو واحد ، متساويتان في الشدة ، متعاكستان في الاتجاه ، تحدث في المستوي عزمًا صافياً .

-

ويدل الرمز على ارتفاع مقطع عنصر إنشائي .

- التشوه :

هو مقدار ابتعاد نقطة من عنصر إنشائي ، عن موضعها الأصلي ، نتيجة تعرض العنصر هذا ، إلى حمولة .

-

يدل الرمز على مسافة ابتعاد نقطة تطبيق الحمولة ،

عن محور مقطع العمود .

٢٤ :

يدلّ الرمز إلى مقدار الإنفعال الناشئ ضمن عنصر
إشكالي وهو يساوي النسبة بمقدار التمدد/الطول الأصلي .

٢٥ :

عامل يونغ ، وهو يساوي الإجهاد/الإنفعال .

٢٦ - حدّ المرونة :

هو الإجهاد الأقصى الذي يمكن أن ينتج أثناء اختبار
شد بسيط ، بحيث لا يكون هناك تشكّل دائم أو متبق ،
بعد إزالة الحمل بالكامل .

٢٧ - القبة :

نوع من أنواع المنشآت المنشآت .

٢٨ - الجسر موثوق الطرفين :

وهو جسر موثوق الطرفين ، وفي وضع أفقي .

٢٩ - عزوم الطرف الثابت :

وهي العزوم المتولّدة عند نهايات المجازات ، بعد
إغلاقها وهي قيم تصدّدها عند حلّ الجوائز وفقاً لأسلوب
توزيع العزوم .

٣٠ - القوة الموازنة :

وهي قوّة تضاف إلى مجموعة من القوى غير
المتوازنة ، بهدف إحداثها إلى حالة التوازن .

٣١ - حمل أويلر للاتّباع :

وهو الحمل الحرج لعمود طويل وحيث ويعطى بالعلاقة :

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$$

حيث تمثّل (E) معامل المرونة و (I) أقل قيمة للعزم
الثاني للمساحة لمساحة المقطع المستعرض حول محور يمر من
مركز ثقل المساحة ، «هـ» هو طول القضيب . إنّ هذه
المعادلة لا تكون صحيحة ، إلا في حالة الأعمدة التي تزيد
نسبة نحافتها عن (100) ، وبهذا تكون قيمة (P_{cr}) المعطاة
من هذه المعادلة تمثّل حمل الإمبرار .

٣٢ :

٣٣ - إجهاد مباشر ، سواء أكان إجهاد ضغط أو
شد .

٣٤ :

٣٥ - يدلّ الرمز على إجهاد مباشر ناتج عن قوّة مطبّقة عند
مركز المساحة .

٤٤-

يدلُّ الرمز على إجهاد مباشر ناتج عن عزوم مأخوذة حول المحور «x» .

٤٥-

يدلُّ الرمز على إجهاد مباشر ناتج عن عزوم مأخوذة حول المحور «y» .

- العزم الأول للمساحة «G» :

يعطى العزم الأول لعنصر من مساحة حول أي محور في مستوى المساحة ، بحاصل ضرب مساحة العنصر في المسافة العمودية بين العنصر والمحور .
- القوة :

هي ظاهرة غير معروفة ، تعرف بتأثيراتها .

- عزم انعطاف المجاز الحر :

حل جسر في منشأة غير مقررة توازنياً ، يتولد عزم إذا كان استناد الجسر بسيطاً .

٤٦- إلخ .

هي مجموعة مُعَابَلات التأثير .

٤٦-

يدلُّ الرمز على العزم الأول للمساحة حول محور معطى .

٤٧-

يدلُّ الرمز على مصفوفة المرونة المستخدمة لحل الجوائز والأطر وفق طريقة مُعَابَلات التأثير .
- أسلوب هاردي كروس :
وهو الاسم البديل لأسلوب توزيع العزم .

٤٨-

هو العزم الثاني لمساحة مقطع حول محور معطى ، ويسمى أحياناً بعزم العطالة .
٤٩-

يدلُّ الرمز على العزم الثاني حول المحور «x» ويسمى « y^2x^2 » .
٥٠-

يدلُّ الرمز على ناتج العطالة ويسمى « xyx^2y^2 » .
- مُعَابَلات التأثير :

وهو أسلوب تحليلي يستخدم لحل منشآت مستمرة ذات بعدين .

- توزيع العزم :

أسلوب تكراري لتحليل منشأة مستمرة ذات

معدن .

- عزم المطالة :

هو العزم الناتج لمساحة مقطع .

- N_x :

يدلُّ الرمز على القوة الحلقية في قبة .

- المحور المحايد :

هو المحور المار من مركز مساحة المقطع .

- العقدة :

هي نقطة من منشأة يتلاقى فيها عنصرين أو أكثر من

منشأة مقطعة بمحور طولي .

- S_x :

يدلُّ الرمز على قوة أو حولة مركزة .

- التشوه اللدن :

هو زيادة التشوهات باستمرار تحت وطأة إجهاد غير

متغير

- نسبة بواسون « ν » :

وهي النسبة بين الانفعال في الاتجاه العرضي

والمعودي على الحمل ، إلى الانفعال في اتجاه المحور .

- المنشآت التضاهية .

وهي منشآت يمكننا حساب وتحديد كافة قواها ،

باستخدام قوانين التوازن فحسب .

- E :

نوابت تستخدم في نظرية العزم .

- L :

يدلُّ الرمز على طول العنصر الإنشائي ، المحدد

بمقدتين .

- M :

يدلُّ الرمز على العزم بمختلف أنواعها ، والعزم

تعميماً هو نتاج شدة القوة بالمسافة المحصورة ما بين نقطة

تأثير القوة وبين النقطة أو الخط المأخوذ حول العزم .

- M_0 :

يدلُّ الرمز على عزم الإنعطاف حول المحور « x » .

- العنصر :

هو الوحدة المكونة للمنشأة .

- غشاء :

هي قشرة نحيلة جداً بحيث لا تملك أي مقاومة

على الالتواء .

- الإجهادات الرئيسية :

هي إجهادات مباشرة في مستويات إجهادات القص فيها تساوي صفراً.

- عنصر موشوري أو منشوري :

هو عنصر تبقى مقاطعه العرضية ثابتة كل طول محورها الطولي .

:-

رمز يدل على نصف قطر الحركة الترددية ويساوي

$$\sqrt{\frac{I}{A}}$$

-R:-

رمز يدل على نصف قطر الإنحناء .

-R:-

رمز يدل على رد الفعل .

- المنشأة الحرة :

هي الترجمة التضاعدية لإطار غير مقرر توازياً ، ناتج عن تحرير قيوده .

- التحليل :

مقدار مرتجات القوى في اتجاه معطى .

- القيد .

يولد القيد قوة فائضة تجعل من المنشأة منشأة غير مفرقة توازياً .

- محصلة

هي قوة وحيدة لها تأثير مشابه لمجموعة من القوى .

- الدوران :

حركة دورانية .

:-

رمز يدل على إجهاد القص .

:-

رمز يدل على قوة القص .

- المزم الثاني للمساحة :

عزم عطالة المقطع .

- المقطع :

الشكل الناتج عن مقطع مار من عنصر .

- مركز القص :

هي نقطة من مقطع عرضي ، يمكن من خلالها التأثير بالأحمال العرضية بحيث ينتج انحناء فقط دون التواء .

- نسبة النعاقلة :

وهي النسبة بين طول العمود إلى أقل نصف قطر
للحركة التلويكية لمساحة المقطع العرضي للعمود أي :

$$\text{نسبة النعاقلة} = \frac{L}{r}$$

- الصلابة :

للجسر أو العمود تساوي $\frac{KEI}{L}$ ، حيث
(K) ثابت متعلق بنوعية الجسر .

- الإجهاد :

هو ما يسمى بالتأثيرات الداخلية للقوى المؤثرة على
الجسم شداً أو ضغطاً .

- مسار الإجهاد :

خط يوضح اتجاه الإجهاد الرئيسي .
- الإنفعال :

هي مقدار استطالة وحدة الأطوال وتساوي :
التمدد/الطول = ϵ .

- الدفعة الإنصفاطية :

عنصر إنشائي واقع تحت تأثير إجهادات ضغط
صرفة .

- اللي أو القفل :

هو عزم متواجد في مستوى المقطع يعمل على ليّ
المنصر .

-U-

رمز يدل على الحل الخاص للحمولة ، مستخدم في
طريقة مُعاملات التأثير .

-W-

حولة موزعة بانتظام لكل وحدة طول من وحدات
طول جسر ما .

-X-

رمز يدل على وزن الجسم أو على حولة مركزة .
-Y-

في طريقة مُعاملات التأثير ، يدل هذا على عمود
مصنوعة القيود أو الوتاقات .

- المحور (X) :

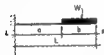
هو عادة المحور الأفقي في مستوي مقطع المنصر .
- المحور (Y) :

هو عادة المحور الشاقولي في مستوي مقطع
المنصر .

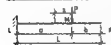
* الجسور الظرفية



$$\begin{aligned} M_{max} &= \frac{Wx^2}{2a} & M_{max} &= \frac{Wa}{2} \\ S_{max} &= R_L = W \\ \delta_{max} &= \frac{Wa^3}{8EI} \\ \delta_{max} = \delta_a &= \frac{Wa^3}{8EI} \times \left(1 + \frac{4b}{3a}\right) \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} M_{max} &= W \left(a + \frac{b}{2}\right) \\ S_{max} &= R_L = W \\ \delta_{max} &= \delta_a = \frac{W}{24EI} (8a^3 + 12a^2b \\ &\quad + 12ab^2 + 3b^3) \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} M_1 &= P_a & M_{max} &= Pa \\ S_{max} &= R_L = P \\ \delta_a &= \frac{Pa^3}{3EI} \\ \delta_{max} = \delta_a &= \frac{Pa^3}{3EI} \times \left(1 + \frac{3b}{2a}\right) \end{aligned}$$

- المحور (Z)

هو عادة المحور الأفقي في مستوي واجهة العنصر .

- مُعَايِل يونغ

ويسمى مُعَايِل المرونة ويساوي : الإجهاد/الانفعال

$E =$

$Z =$

رمز يدل على مُعَايِل المقطع حول المحور «x»

ويساوي : $\frac{I_y}{y_{max}}$

● جداول لحلّ جسور نموذجية :

- 4.02 : ترتّب الجداول هذه ، صيغ وقيم الموزم

(M) ، ردود الأفعال (R) ، قوى القص (S) ،

والتشوهات (δ) الحاصلة في الجسور ، نتيجة تعرّضها

لمعدن من الحمولات الشائعة ، والمحمولة على مساند ذات

طبيعة محدّدة . تغطي الجداول هذه : الجسور الظرفية ،

جسور محمولة على مساند حرّة الحركة ، جسور موثوقة

الطرفين ، والجسور الظرفية المدعومة .



$$M_{max} = Pa$$

$$R_L = R_R = P$$

$$\delta_{max} = \frac{PL^3}{48EI} \left[\frac{2a}{L} - \left(\frac{a}{L} \right)^3 \right]$$



$$M_x = W_x \left(\frac{1}{2} - \frac{2x^3}{3L^2} \right)$$

$$M_{max} = \frac{WL}{8}$$

$$R_L = R_R = \frac{W}{2}$$

$$\delta_{max} = \frac{WL^3}{60EI}$$

$$\text{If } \phi = 60^\circ \quad M = 0.0725 WL^2$$

$$R = 0.217 WL^2$$



$$M_{max} = P \frac{ab}{L} = M_p$$

$$R_L = \frac{Pb}{L} \quad R_R = \frac{Pa}{L}$$

δ_{max} always occurs within 0.0774L of the centre of the beam.

When $b \geq a$

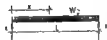
$$\delta_{centre} = \frac{PL^3}{48EI} \times$$

$$\left[3\frac{a}{L} - 4\left(\frac{a}{L}\right)^3 \right]$$

This value is always within 2.5 per cent of the maximum value.

$$\delta_p = \frac{PL^3}{3EI} \left(\frac{a}{L} \right)^2 \left(1 - \frac{a}{L} \right)^2$$

* جسر بمساند طرفية *



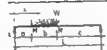
$$M_x = \frac{Wx}{2} \left(1 - \frac{x}{L} \right)$$

$$M_{max} = \frac{WL}{8}$$

$$R_L = R_R = \frac{W}{2}$$

$$\delta_{max} \text{ at centre} = \frac{5}{384}$$

$$\times \frac{WL^3}{EI}$$



$$M_{max} = \frac{W}{b} \left(\frac{x^3 - a^3}{2} \right)$$

when

$$x = a + R_L \times \frac{b}{W}$$

$$R_L = \frac{W}{L} \left(\frac{b}{2} + a \right)$$

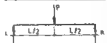
$$R_R = \frac{W}{L} \left(\frac{b}{2} + a \right)$$

if $a = 0$

$$M = \frac{W}{8} (L + 2a)$$

$$\delta_{max} = \frac{W}{384EI} \times$$

$$(8L^3 - 4Lb^2 + b^3)$$



$$M_{max} = \frac{PL}{4}$$

$$R_L = R_R = \frac{P}{2}$$

$$\delta_{max} = \frac{PL^3}{48EI}$$



$$M_{max} = \frac{5PL}{12}$$

$$M_M = M_P = \frac{PL}{4}$$

$$R_L = R_R = \frac{3P}{2}$$

$$\delta_{max} = \frac{53 PL^3}{1296 EI}$$



$$M_{max} = P_M = P_P = \frac{PL}{2}$$

$$M_M = M_O = \frac{PL}{4}$$

$$R_L = R_R = 2P$$

$$\delta_{max} = \frac{61 PL^3}{7488 EI}$$



$$M_{ML} = M_L = \frac{a}{L} \quad M_{MR} = M_R = \frac{b}{L}$$

$$R_A = R_B = \frac{P}{L}$$

when $a > b$

$$\delta_M = -\frac{Mab}{3EI} \left(\frac{a}{L} - \frac{b}{L} \right)$$



$$R_L = -R_R = \frac{M_L - M_R}{L}$$

when $M_L = M_R$

$$\delta_{max} = -\frac{ML^2}{8EI}$$

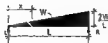


$$M_A = \frac{WL}{2} (m^6 - 2m^3 + m)$$

$$M_{max} = \frac{5WL}{32}$$

$$R_L = R_R = \frac{W}{2}$$

$$\delta_{max} = \frac{6.1 WL^3}{384 EI}$$



$$M_x = \frac{Wx}{3} \left(1 - \frac{x^2}{L^2} \right)$$

$$M_{max} = 0.128WL$$

$$x_1 = 0.5774L$$

$$R_L = \frac{W}{3}$$

$$R_R = \frac{2W}{3}$$

$$\delta_{max} = \delta x_2 = \frac{0.01304WL^3}{EI}$$

$$x_2 = 0.5193L$$

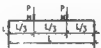


$$M_{ML} = \frac{Pa(b+2a)}{2L}$$

$$M_{MR} = \frac{Pb(b+2a)}{2L}$$

$$R_L = \frac{P(b+2a)}{L}$$

$$R_R = \frac{P(b+2a)}{L}$$



$$M_{max} = \frac{PL}{3}$$

$$R_L = R_R = P$$

$$\delta_{max} = \frac{23 PL^3}{648 EI}$$



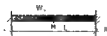
$$M_{max} = M_N = \frac{PL}{2}$$

$$M_M = M_P = \frac{3PL}{8}$$

$$R_L = R_R = \frac{3P}{2}$$

$$\delta_{max} = \frac{19 PL^3}{384 EI}$$

جسور موثقة الطرفين



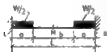
$$M_L = M_R = -\frac{WL}{12}$$

$$M_{max} = \frac{WL}{24}$$

$$R_L = R_R = \frac{W}{2}$$

points of contraflexure
0.21L from each end

$$\delta_{max} = \frac{WL^3}{384EI}$$



$$M_L = M_R = -\frac{WN}{12L} \times$$

$$(2L - 2N)$$

$$M_{max} = \frac{WN}{4} + M_L$$

$$R_L = R_R = \frac{WN}{2}$$

$$\delta_{max} = \frac{WN^3}{48EI} (L - N)$$



مركز مساحة نصف
نصف حجم المثلث الطرف المربع
نصف حجم المثلث الطرف المربع
مركز مساحة نصف المثلث
نصف حجم المثلث الطرف المربع

$$M_L = M_R = -\frac{A_2}{L}$$

where A_2 is the area of the
free bending moment dia-
gram

$$R_L = R_R = \frac{W}{2}$$

$$\delta_{max} = \frac{A_2 x - A_2 x_1}{2EI}$$



$$M_L = M_R = -\frac{wN^2}{2}$$

$$M_{max} = \frac{WL^2}{8} + M_L$$

$$R_L = R_R = w \left(N + \frac{L}{2} \right)$$

$$\delta_p = \delta_c = \frac{wL^2N}{24EI} \times$$

$$(1 - 6n^2 + 3n^3)$$

$$\delta_{max} = \frac{wL^3}{288EI} (6 - 24n^2)$$

$$n = \frac{N}{L}$$

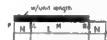


$$M_L = M_R = -\frac{wN^2}{2}$$

$$R_L = R_R = wN$$

$$\delta_p = \delta_c = \frac{wL^2N^3}{8EI} \left(\frac{2}{L} + h \right)$$

$$\delta_{max} = -\frac{wL^2N^3}{16EI}$$



$$M_L = -\frac{wN^2}{2}$$

$$R_L = \frac{w(N + L)^2}{2L}$$

$$R_R = \frac{w(L + N)(L - N)}{2L}$$

$$\delta_p = \frac{wL^2N}{24EI} (3n^2 + 4n^3 - 1)$$

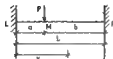
$$\delta_c = \frac{wL^4}{24EI} \left[m^2 - 3m^3 \right]$$

$$(1 - n^2) + m(1 - 3n^2)$$

$$\delta_Q = -\frac{wL^2N}{24EI} (2n^2 - 1)$$

$$m = \frac{x}{L}$$

$$n = \frac{N}{L}$$



$$M_L = -\frac{Pab^2}{L^3}$$

$$M_R = -\frac{Pba^2}{L^3}$$

$$M_M = -\frac{2Pab^2}{L^3}$$

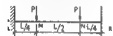
$$R_L = P \frac{b^2}{L^3} \left(1 + \frac{a}{L} \right)$$

$$R_R = P \frac{a^2}{L^3} \left(1 + \frac{b}{L} \right)$$

$$\delta_M = \frac{Pa^2b^2}{3EI L^3}$$

$$\delta_{max} = \frac{2Pab^2}{3EI (3L - 2a)}$$

$$\text{at } x = \frac{3L - 2a}{3}$$



$$M_L = M_R = -\frac{3PL}{16}$$

$$M_M = M_N = \frac{PL}{16}$$

$$R_L = R_R = P$$

$$\delta_{max} = \frac{PL^3}{192EI}$$

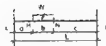


$$M_L = M_R = -\frac{Pa(L-a)}{L}$$

$$M_M = M_N = \frac{Pa^2}{L}$$

$$R_L = R_R = P$$

$$\delta_{max} = \frac{PL^3}{6EI} \left[\frac{3a^3}{4L^3} - \frac{a^2}{L^2} \right]$$



$$M_L = -\frac{W}{12L^2b}$$

$$\left[c^2 (4 - 3c) - c^3 (4L - 3c) \right]$$

$$M_R = -\frac{W}{12L^2b} \times$$

$$\left[d^2 (4L - 3d) - d^3 (4L - 3d) \right]$$

$$a = b = d$$

$$b = c = c$$

$$\text{he}$$

$$\text{ted,}$$

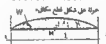
$$R_L = r_L + \frac{M_L - M_R}{L}$$

$$R_R = r_R + \frac{M_R - M_L}{L}$$

$$s = c = d$$

$$\delta_{max} = \frac{W}{384EI} \times$$

$$(L^3 + 2La^3 - 4La^2 - 8a^3)$$



$$M_L = M_R = -\frac{WL}{10}$$

$$M_M = \frac{5WL}{32} - \frac{WL}{10} = \frac{9WL}{160}$$

$$R_L = R_R = \frac{W}{2}$$

$$\delta_{max} = \frac{13WL^3}{384EI}$$

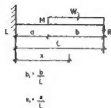


$$M_L = M_R = -\frac{PL}{8}$$

$$M_M = \frac{PL}{8}$$

$$R_L = R_R = \frac{P}{2}$$

$$\delta_{max} = \frac{PL^3}{192EI}$$



$$M_L = -\frac{Wb}{6} (2 - b_1^2)$$

$$M_R = \frac{Wb}{6} (6b_1 - b_1^2 - 4)$$

$$M = 0 \text{ where } x_1 = \frac{2 - b_1^2}{6 - b_1^2}$$

$$R_L = \frac{Wb_1}{6} (6 - b_1^2)$$

$$R_R = \frac{W}{6} (b_1^2 - 6b_1 + 6)$$

$$\text{If } x \leq a : \text{use (1)}$$

$$\delta = \frac{WbL^4}{48EI} \times$$

$$\left[(b_1^2 - 6) x_1^2 - (3b_1^2 - 6) x_1^3 \right]$$

$$\text{If } x \geq a : \text{use (2)}$$

$$= \frac{WL^4}{48EI} \times$$

$$\left[2p^4 - p^2 b_1 (b_1^2 - 6b_1 + 6) + pb_1^2 (3b_1^2 - 6b_1 + 6) \right]$$

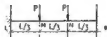
$$p = 1 - x_1$$



$$M_L = -\frac{W}{8L^2 b} (d^2 - c^2) \times$$

$$(3L^2 - c^2 - d^2)$$

$$d = b + c$$

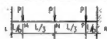


$$M_L = M_R = -\frac{2PL}{8}$$

$$M_{\text{at}} = M_{\text{at}} = \frac{PL}{9}$$

$$R_L = R_R = P$$

$$\delta_{\text{max}} = \frac{5PL^3}{648EI}$$

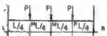


$$M_L = M_R = -\frac{19PL}{72}$$

$$M_{\text{at}} = \frac{11PL}{72}$$

$$R_L = R_R = \frac{3P}{2}$$

$$\delta_{\text{max}} = \frac{41PL^3}{5184EI}$$

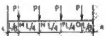


$$M_L = M_R = -\frac{5PL}{16}$$

$$M_{\text{at}} = \frac{3PL}{16}$$

$$R_L = R_R = \frac{3P}{2}$$

$$\delta_{\text{max}} = \frac{PL^3}{96EI}$$



$$M_L = M_R = -\frac{11PL}{32}$$

$$M_{\text{at}} = M_{\text{at}} = \frac{5PL}{32}$$

$$R_L = R_R = 2P$$

$$\delta_{\text{max}} = \frac{PL^3}{96EI}$$



$$M_L = -\frac{Pb}{2} (1 - b_1^2)$$

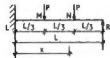
(maximum 0.183PL if $b_1 = 0.577$)

$$M_M = -\frac{Pb}{2} (2 - 3b_1 + b_1^2)$$

(maximum 0.174PL if $b_1 = 0.366$)

$$R_L = \frac{Pa^2}{L^2} (b_1 + 3)$$

$$\Delta_m = \frac{Pa^2 b^3}{18EI L^3} \times (4L - a)$$



$$M_L = -\frac{1}{3} PL$$

$$M_M = \frac{1}{9} PL$$

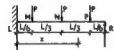
$$M_N = \frac{2}{9} PL$$

$$R_L = \frac{4}{3} P$$

$$R_N = \frac{2}{3} P$$

$$\Delta_{max} = 0.0152 \frac{PL^3}{EI}$$

at $x = 0.577L$



$$M_L = -\frac{19PL}{48}$$

$$M_M = \frac{21PL}{96}$$

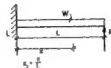
$$M_N = \frac{53PL}{288}$$

$$R_L = \frac{91P}{48}$$

$$R_N = \frac{53P}{48}$$

$$\Delta_{max} = 0.0169 \frac{PL^3}{EI}$$

at $x = 0.577L$



$$M_L = -\frac{WL}{8}$$

$$M_{max} = \frac{9WL}{128}$$

at $x_1 = \frac{1}{8}$

$$M = 0 \text{ at } x_2 = \frac{1}{2}$$

$$R_L = \frac{1}{4} W$$

$$R_N = \frac{1}{4} W$$

$$m = \frac{1}{2} - x_1$$

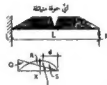
منها :

$$\Delta = \frac{WL^3}{48EI} \times$$

$$(m - 3m^2 + 2m^3)$$

$$\Delta_{max} = \frac{WL^3}{185EI}$$

at $x_1 = 0.578$



(3) مركز ثقل الشحنة

منها تكون (A) هي مساحة المثلث وزم
انصاف الطول لـ B يكون :

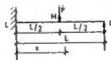
$$M_L = \frac{3A_p}{2L}$$

$$R_L = \frac{W}{3} + \frac{M_L}{L}$$

$$R_N = \frac{W}{3} - \frac{M_L}{L}$$

تكون لـ (B) أعظم عند النقطة (x) حيث الشحنة
(3) تكون الشحنة (A)

$$\Delta_{max} = \frac{(3) \times X \times d}{EI}$$



$$M_L = -\frac{3}{16} PL$$

$$M_M = \frac{5}{32} PL$$

$$R_L = \frac{11}{16} P$$

$$R_N = \frac{5}{16} P$$

$$\Delta_m = \frac{7PL^3}{768EI}$$

$$\Delta_{max} = 0.00932 \frac{PL^3}{EI}$$

at $x = 0.553L$

